



<p>(51) 国際特許分類 F16J 15/18, F01D 11/02</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/03164</p> <p>(43) 国際公開日 2000年1月20日(20.01.00)</p>																	
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/03760</p> <p>(22) 国際出願日 1999年7月13日(13.07.99)</p> <p>(30) 優先権データ</p> <table border="0"> <tr> <td>特願平10/197790</td> <td>1998年7月13日(13.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211631</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211632</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211633</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211634</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211635</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211636</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/211637</td> <td>1998年7月27日(27.07.98)</td> </tr> <tr> <td>特願平10/322661</td> <td>1998年11月12日(12.11.98)</td> </tr> </table> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱重工株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)[JP/JP] 〒100-8315 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 篠原種宏(SHINOHARA, Tanehiro)[JP/JP] 豊田真彦(Toyoda, Masahiko)[JP/JP] 小澤 豊(OZAWA, Yutaka)[JP/JP] 川口昭博(KAWAGUCHI, Akihiro)[JP/JP]</p>	特願平10/197790	1998年7月13日(13.07.98)	特願平10/211631	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211632	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211633	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211634	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211635	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211636	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/211637	1998年7月27日(27.07.98)	特願平10/322661	1998年11月12日(12.11.98)	<p>吉田善一(YOSHIDA, Zenichi)[JP/JP] 國武信広(KUNITAKE, Nobuhiro)[JP/JP] 太田高裕(OHTA, Takahiro)[JP/JP] 伊藤栄作(ITO, Eisaku)[JP/JP] 川田 裕(KAWATA, Yutaka)[JP/JP] 竹下興二(TAKESHITA, Koji)[JP/JP] 〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工株式会社 高砂研究所内 Hyogo, (JP) 赤城弘一(AKAGI, Kouiti)[JP/JP] 由里雅則(YURI, Masanori)[JP/JP] 榊原積徳(SAKAKIBARA, Setunori)[JP/JP] 〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工株式会社 高砂製作所内 Hyogo, (JP) 中根秀彦(NAKANE, Hidehiko)[JP/JP] 〒655-0038 兵庫県神戸市垂水区星陵台8丁目1番14号 Hyogo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CA, JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
特願平10/197790	1998年7月13日(13.07.98)																		
特願平10/211631	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211632	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211633	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211634	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211635	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211636	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/211637	1998年7月27日(27.07.98)																		
特願平10/322661	1998年11月12日(12.11.98)																		
<p>(54) Title: SHAFT SEAL AND TURBINE USING THE SHAFT SEAL</p> <p>(54) 発明の名称 軸シール及びそれを用いたタービン</p> <div data-bbox="581 1291 1031 1648"> <p>A... HIGH-PRESSURE SIDE AREA B... ROTATING DIRECTION C... AXIAL DIRECTION D... LOW-PRESSURE SIDE AREA</p> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A shaft seal excellent in wear resistance which reduces the amount of gas leakage from a high pressure side to a low pressure side, wherein flexible thin sheets (18) are laminated in ring-shape and disposed mainly around a rotating shaft (11) of a gas turbine, the turbine comprises a casing (12), a compressor, a rotating shaft (11), rotor vanes installed on the rotating shaft (11), and stator vanes installed in the casing (12) so that they are opposed to the rotor vanes, and the shaft seal is disposed between the plurality of stator vanes and the rotating shaft (11) so that each thin sheet (18) is brought into contact with the rotating shaft (11), whereby, during the rated operation, the tips of the thin sheets (18) are floated slightly from the surface of the rotating shaft (11) by a dynamic pressure caused by the rotation of the rotating shaft (11) and, when the operation is stopped, the tips of the thin sheets touch the rotating shaft (11) again by an elastic restoring force of the thin sheets (18).</p>																			

(57)要約

高圧側から低圧側へのガスの漏れ量を低減するとともに耐摩耗性に優れた軸シールを提供する。本軸シールは可撓性を有する薄板（１８）をリング状に積層したものであり、主としてガスタービン等の回転軸（１１）の周囲に配設される。上記タービンはケーシング（１２）と圧縮機と、回転軸（１１）と、前記回転軸（１１）に設けられた動翼と、前記ケーシング（１２）に、前記動翼と対向するように設けられた静翼とを有し、複数の静翼と前記回転軸（１１）との間に、前記軸シールを各薄板（１８）が前記回転軸（１１）に接するように配設し、定格運転時には、前記回転軸（１１）の回転により生じる動圧により、前記薄板（１８）の先端が該回転軸（１１）の表面から僅かに浮上し、運転停止時には前記薄板（１８）の弾性復元力によりその先端が再び前記回転軸（１１）に接する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AL アルバニア	EE エストニア	LC セントルシア	SD スーダン
AM アルメニア	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AT オーストリア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AU オーストラリア	FR フランス	LR リベリア	SI スロヴェニア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LS レソト	SK スロヴァキア
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BB バルバドス	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BF ベルギー	GE グルジア	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BF ブルギナ・ファソ	GH ガーナ	MA モロッコ	TD チャード
BG ブルガリア	GM ガンビア	MC モナコ	TG トーゴ
BJ ベナン	GN ギニア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BR ブラジル	GW ギニア・ビサウ	MG マダガスカル	TZ タンザニア
BY ベラルーシ	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM トルクメニスタン
CA カナダ	HR クロアチア	共和国	TR トルコ
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	ML モンゴル	TT トリニダード・トバゴ
CG コンゴ	ID インドネシア	MN モンゴル	UA ウクライナ
CH スイス	IE アイルランド	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CI コートジボアール	IL イスラエル	MW マラウイ	US 米国
CM カメルーン	IN インド	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	VN ヴェトナム
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	YU ユーゴスラヴィア
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZA 南アフリカ共和国
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	ZW ジンバブエ
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

軸シール及びそれを用いたタービン

技術分野

本発明は、各種タービン、圧縮機、水車、冷凍機、ポンプなど大型流体機械の回転軸等に適用される軸シール機構に関し、特に、該シールを適用したガスタービン、蒸気タービンに関する。

背景技術

高温高圧のガスをタービンに導いて膨張させ、ガスの熱エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換して動力を発生するガスタービンにおいて、静翼と回転軸との間には、高圧側から低圧側に漏れる燃焼ガスの漏れ量を低減するためのシール機構（軸シール）が設けられている。このシール機構としては、非接触型のラビリンスシールが従来から幅広く使用されている。ところで、ラビリンスシールは回転過渡期の軸振動、或いは過渡的な熱変形時にもフィン先端の隙間が接触しないようにフィン先端の隙間を或る程度大きくしなければならないためにガスの漏れ量が多い。このようなラビリンスシールに代え、漏れ量の低減を狙って開発されたシール材としてブラシシールがある。

図 3 7 A、3 7 B は上記ブラシシールの概略構成図である。図において、符号 1 は回転軸、2 はケーシング、3 は低圧側側板、4 は高圧側側板、5 はろう付け部、6 はワイヤである。ワイヤ 6 は、回転軸 1 の振動、或いは熱変形による偏心などを吸収することができるように適度の剛性を持つ線径約 5 0 ～ 1 0 0 μ m のフィラメントで構成され、ワイヤ 6 間はほぼ隙間がないように幅 1 ～ 3 mm の密集した束になっている。また、ワイヤ 6 は回転軸 1 の外周面と鋭角をなすように回転方向に対して傾斜して取付けられている。ワイヤ 6 の先端は回転軸 1 の外周面に所定の予圧を有して接触しており、接触することにより軸方向の漏れ量を低減する構造になっている。

ワイヤ 6 は回転軸 1 に接触して摺動し、雰囲気条件、或いは周速によってはこ

の摺動により発熱してワイヤ6が赤熱状態になるため、使用する条件によってワイヤ6にインコネル、ハステロイなどの耐高熱材が用いられている。また、ワイヤ6とともに回転軸1の外周の摺動面も摩耗するため、回転軸1の摺動面には耐摩耗材がコーティングされている。さらに、ワイヤ6は回転軸1軸方向の剛性が小さいので、低圧側側板3の内径を回転軸1の外周とほぼ等しくすることでワイヤ6の破損が防止されている。

ところで、上記のブラシシールには次のような問題点がある。

ブラシシールにおいては、ワイヤ6間からの漏れ、ワイヤ6先端からの漏れおよび回転軸1外周と接触する摺動面からの漏れが問題となるが、シール差圧がワイヤ6の線径、低圧側側板3の配置などから決まる許容値を越えると、ワイヤ6全体が低圧側に変形を生じて倒れ、ワイヤ6と回転軸1との間が吹き抜け状態となってシール機能を失ってしまう恐れがある。

ブラシシールを構成するワイヤ6の剛性は回転軸1の軸振れに対する追随性および回転軸1との適正な予圧などから決められているが、ワイヤ6の線径を太くするなどして剛性を上げるには限界がある。したがって、ワイヤ6の剛性に支配される回転軸1軸方向のシール差圧は 5 kgf/cm^2 程度が限界で、大きな差圧をシールすることができない。また、ワイヤ6の線径は通常約 $50\sim100\mu\text{m}$ と非常に細く、回転軸1の周面と接触して摺動することによりワイヤ6が破断して脱落する危険性があり、ガスタービンを経営にわたって使用するには問題がある。

ワイヤ6先端からの漏れ量はワイヤ6が回転軸1の周面に接触して摺動するためにラビリンスシールなどと比べて大幅に小さいが、ワイヤ6間からの漏れ量を安定して小さく保持することが難しい。

また、ワイヤ6と回転軸1の周面とが接触して摺動するので、回転軸1の表面には耐摩耗材のコーティングが必要である。しかしながら、大径の回転軸1の周面に対して長時間の使用に耐える耐摩耗材のコーティングCを形成する技術が確立されておらず、ワイヤ6および回転軸1の摩耗が大きいので、ブラシシールの寿命が短く交換頻度が高い。

発明の開示

本発明は、漏れが少なく高いシール性を有するとともに、耐摩耗性に優れた軸シールの提供を目的としている。本発明はまた、上記軸シールを用いたタービンの提供、特に、これをガスタービンに用いて、シール部に高い耐摩耗性を有しながら高圧側から低圧側へのガスの漏れ量を低減することを目的としている。

従って、本発明は、可撓性を有する薄板をリング状に積層した軸シールを提供する。典型的には、積層された前記薄板の一方の側が筒状の固定手段に取り付けられ、所定の軸（主として回転軸）の周囲に配設される。

シール部材に係る薄板を使用することにより、従来のワイヤと比較してケーシングに対する固定部が拡大されるので、薄板がケーシングに対して強固に固定される。これにより、従来のブラシシールにおけるワイヤのようなケーシングからの脱落を防止することができる。

また、薄板の先端は回転軸の軸方向に剛性が高く回転軸の周方向には柔らかいので、差圧方向への変形を起こし難くなってシール差圧の許容値が引き上げられる。

また、共振点通過時など回転軸の振動が大きいときには薄板が変形して回転軸との接触が緩和されることに加え、定格条件では回転軸の回転によって生じる動圧効果によって薄板の先端が回転軸の表面から浮上して回転軸との接触が回避されるので、薄板と回転軸との接触による過大な発熱および摩耗を防止することができる。さらに、薄板と回転軸との接触による発熱が防止されることにより、回転軸におけるサーマルバランスによる振動の発生を回避することができる。

上記構成において、前記各薄板が、前記軸の径方向に対して傾斜して配置されても良い。特に、前記各薄板が、回転軸の径方向に対し、回転軸の回転方向と逆側に傾斜させると、回転軸の回転によって生じる動圧効果によって薄板の先端が回転軸の表面から浮上するようになって薄板と回転軸との接触が回避される。

この場合、前記各薄板が前記回転軸の周面と30～45度の角度をなすように傾斜させた平板であると、板の曲げ剛性が小さく、回転軸の回転によって生じる動圧効果で薄板の先端部が回転軸の表面から浮上するので、回転方向の抵抗も小さくなる。その結果、軸シールの損失が低減される。

また、リング状軸シールの内周側、外周側のいずれにおいても、前記各薄板間の隙間を本質的に等しくすることができる。この場合薄板をより密に配置することが可能となり、薄板の先端と回転軸との隙間を従来の非接触型のラビリンスシールなどと比べて飛躍的に小さくすることができる。これにより、ガス等の漏れ量を大幅に低減することが可能となり、結果的に（ガス）タービンの性能を向上させることができる。

ここで、シール径が十分に大きい（たとえば直径が1000mm程度）場合は平板状の薄板で薄板間の隙間をほぼ均一にできる。しかし、シール径が比較的小さい場合には、薄板の形状を軸シールの半径方向で曲率の変化する円弧状にして薄板間の隙間を等しくすることができる。従って、この場合も薄板をより密に配置することが可能となるので、薄板間からの漏れ量を低減し、これを適用したタービンの効率向上がはかれる。

また、前記薄板の前記軸側先端部に浮力付与手段を設けても良い。これにより、タービンの回転軸に適用した場合、定格運転時には動圧により薄板先端が浮上して回転軸と非接触状態となる。即ち、薄板と回転軸との接触を効果的に防止できる。

上記浮力付与手段の好適な例として、軸シールが配設される回転軸の周面からの高さが、回転方向に減少していく傾斜面である場合がある。この場合、傾斜面におけるくさび効果によって動圧が生じ、薄板先端が浮上して回転軸と非接触の状態になる。

このような傾斜面は、

（１）前記軸シールの各薄板が、前記回転軸の径方向に対し、回転方向と逆側に傾斜するように該薄板の外周側基端を固定し、

（２）前記薄板と前記回転軸の周面とがなす鋭角が減少するように前記薄板の内周側自由端の先端部を押圧し、その状態で該先端部が該回転軸とほぼ平行になるように加工し、

（３）上記加工の完了後に前記押圧を解除する

加工方法により作成可能である。

また、浮力付与手段の別例として、前記薄板の前記先端部の端面を軸方向にス

テップ状にしても良い。この場合、上記ステップにおける差圧によって浮力が生じ、薄板先端が浮上して回転軸と非接触の状態になる。

また、浮力付与手段の別例として、前記薄板の前記先端部の端面を軸の周方向にステップ状にしても良い。この場合、回転による動圧効果を利用して薄板先端を浮上させ、回転軸と非接触の状態にする。

また、前記各薄板を、該薄板の幅方向が前記軸の軸線と平行な方向とずれるように配置しても良い。この場合、回転軸の軸方向長さに比べて薄板間に形成される流路長を増大して、流路抵抗を増やすことができる。その結果、薄板間からの漏れ量低減が一層図れる。

また、前記薄板が、高圧側から加圧された際に、これら薄板の先端が前記軸から離間する状態に配置されても良い。これにより、薄板の先端が回転軸の表面から浮上して回転軸との接触が回避されるので、薄板と回転軸との接触による過大な発熱および摩耗を防止することができる。

更に、前記薄板の両側に全周に亘って側板を設け、各側板と薄板との間には、薄板が作動可能な間隔が設けられるように構成できる。これにより、前記薄板にかかる高圧側からの圧力と低圧側からの吸引力とを低減して前記薄板の差圧方向への変形を防止するとともに、薄板付近において流路抵抗を増やすことができる。

この場合、前記各薄板が、所定の軸の径方向に対して傾斜して配置されるとともに、前記各側板先端と前記軸との間隔が、前記薄板の両側で等しく設定されるようにしても良い。これにより、前記間隔を、前記回転軸が回転可能な隙間とすることが可能であり、前記側板を前記薄板の回転軸半径方向略全幅を覆って設けることにより、薄板付近において一層流路抵抗を増やすことができる。

また、前記薄板と前記側板間の隙間が、前記薄板の両側で互いに等しくなるようにすれば、前記薄板の差圧方向への変形をより防止することができる。

更にまた、前記リング状薄板の外周側基端が、複数の円弧状分割体からなる環状体に植設され、前記円弧状分割体どうしの分割面は、周方向に段が設けられた食い違い面とされた形態も可能である。これによれば、円弧状分割体間に侵入しようとする高圧の燃焼ガスが、段をなす分割面に突き当たって侵入を阻止される。これにより、円弧状分割体どうしの接合部からの燃焼ガスの漏れが防止される。

また、分割面が食い違い面とされることにより接合部の補強がなされる。

また、前記薄板が所定枚数毎に単位セグメントとしてまとめられ、これら単位セグメント間に間隔が設けられた構成としても良い。この場合、各薄板の先端部が浮上する際に、各単位セグメント間には間隔が設けられて互いに離れているので、各薄板は、隣の単位セグメントの薄板の干渉を受けにくく、浮上しやすくなる。即ち、各薄板と回転軸との接触をより回避しやすい構造と言える。

また、前記各薄板が、前記回転軸の径方向に対して傾斜して配置され、前記回転軸の前記各薄板が摺動する部分には、該回転軸の周面近傍の流体を該回転軸の遠心力により前記各薄板に向けて送り出す送流部が設けられた構成も可能である。これにより、回転軸近傍の流体は回転軸の遠心力により各薄板に向けて送り出されるので、この流体圧力により各薄板の先端の浮上が促進される。即ち、薄板と回転軸との接触による過大な発熱および摩耗を、より確実に防止することが可能となる。

更にまた、前記各薄板に、その表面から突出してなる薄板間隙間形成部を設けても良い。この場合、隙間形成部の突出高さを薄板間に形成すべき隙間と等しい値に設定しておけば、隙間形成部を介して薄板同士を互いに当接させるだけで、薄板間の隙間が内外周間で確実に均一かつ所定の微小隙間に設定されることになる。

前記隙間形成部は、例えば、前記薄板の一部を変形させた突起により実現できる。この場合、薄板とは別体の部材を固定することで隙間形成部が構成されるのではなく、薄板の一部を変形させることで隙間形成部が構成されるため、部品点数の増加を招くことがない。この突起は、例えば精密プレス加工により形成される。

前記隙間形成部の別例として、前記薄板の一部に被覆層を形成しても良い。この被覆層は、例えば、溶融メッキ等により形成できる。この場合も、部品点数の増加を招くことなく、隙間形成部が薄板に構成されることになる。特に、被覆層がメッキ層である場合には、メッキ層の厚さを1 μ m刻みのオーダーで形成することができるため、回転軸の全周にわたって各薄板間の隙間を精度良く形成することが可能になる。

上述のような部品点数の増加が無い形態では、生産性の向上を図ることができるとともに、厳格な工程管理も不要にして低コスト化を図ることができる。

更に別の例として、前記薄板の一部をエッチングすることにより形成される段差部を前記隙間形成部としても良い。即ち、薄板の一部をエッチングすることにより、エッチングされた部分とされていない部分との間に隙間形成部である段差を形成するようにしているため、薄板間の隙間を精度良く形成することができる。

即ち、隙間形成部を介して薄板同士を互いに当接させるだけで、薄板間の隙間が内外周間で確実に均一かつ所定の微少隙間に設定されるため、高いシール性を発揮することのできる軸シール機構が内装されたタービンを容易に実現できる。

また、周方向に複数ヶ所の逃がし通路を設け、該逃がし通路は、当該薄板間の間隔を他の部分よりも大きく形成することにより形成された構成も可能である。

前記逃がし通路は、軸シールの円周方向適所において、片持支持されている薄板の自由変形部分、つまり該薄板の根元固定部よりも先端寄りの部分を除去して相隣る薄板間のピッチを他の部分よりも大きくすることによって形成するのが好ましい。

これによれば、軸シールの高圧側の圧力は、その一部が該軸シールの円周方向適所に設けられた逃がし通路を通して低圧側にされる。従って、該軸シールの高圧側と低圧側との差圧が増大しようとしても、高圧側の圧力の一部が逃がし通路を介して低圧側に開放されることにより、差圧の増大による薄板の破損が防止される。これにより、薄板の剛性を小さくして流体シール性能を向上させても、上記逃がし通路による圧力開放作用により、破損が発生することはない。

また、前記薄板が所定枚数毎に単位セグメント（ブロック）としてまとめられ、各セグメントが該薄板よりも厚肉の主リーフに固定された構成も可能である。

具体例としては、50～100枚を1セグメントとし、上記主リーフは、各セグメント間に位置して外周側端部が各薄板の根元部にろう付け固着されるリーフ部と、該リーフ部の内周側に連設されて、回転軸の外周に微小間隙を存して配設されたスカート部とにより構成するのがよい。

このような構成によれば、薄板をブロック毎に主リーフで支持することにより、薄板の剛性が向上し、高圧部と低圧部との間の差圧が大きい軸シールに対しても

薄板の破損を生ずることなく適用可能となる。また前記差圧により、薄板に振れ荷重が作用するような事態となっても、前記ブロック化による剛性増大によって薄板の破損が防止され、耐久性が増す。

さらに、定格運転中においては、前記主リーフの内周と回転軸の外周との間を前記差圧と動圧効果とによって非接触とすることができる。

また、必要に応じて、今まで説明してきた各種リング状軸シールを、所定の軸の軸方向に、間隔を置いて複数段設置できる。

係る構成によれば、高圧室内の流体は、回転軸等の軸方向に複数段配設された軸シールの各段で段階的に減圧され、最終段の軸シール出口において低圧室の圧力まで低下する。これにより、単段の軸シールを用いる場合に比べ、流体の漏れ量が大幅に減少する。本構成は、高差圧で大径の軸シールに効果的かつ容易に適用できる。

ここで、前記複数段の軸シールは、高圧側に最も近く配置される軸シールの軸方向幅が最大に、低圧側に最も近く配置される軸シールの軸方向幅が最小になるように形成できる。できれば、高圧側から低圧側に段階的に減少するのが好ましい。

ここで、前記各軸シールは、その軸方向幅 L が下式

$$L = k (P_1^2 - P_2^2) / G \quad \dots (1)$$

P_1 = 上流側の圧力、 P_2 = 下流側の圧力、 G = 流体漏れ重量流量、 k = 所定の係数

により設定することができる。

ここで、軸シールの各段の漏れ量 G は、下式のように表される。

$$G \propto (P_1^2 - P_2^2) / L \quad \dots (2)$$

即ち、各段の漏れ量 G は各段の軸方向幅 L に反比例し、圧力差の2乗に比例する。つまり軸方向幅 L が大きくなれば漏れ量 G が小さくなる。

従って、圧力の高い高圧室（圧力 P_0 ）寄りの軸シールの軸方向幅 L_1 を最大とし、低圧室（圧力 P_n ）側に向かって圧力が低下するに従い上記幅 L を小さくしていき、最終段出口の圧力が低圧室の圧力 P_n （この圧力は通常、大気圧とされる）になるように、前記軸シールの段数及び軸方向幅 L を前記（１）式によって設定することにより、高圧室から低圧室へ漏洩する流体の量を最小量に抑えることができる。即ち、流体の最小漏れ量を実現するために必要な軸シールの段数及び軸方向幅を容易に設定できる。

以上述べてきたような軸シールは、タービン、特に、高温高圧のガスをケーシングに導き、該ケーシングの内部に回転可能に支持された回転軸の動翼に高温高圧のガスを吹き付けることで該ガスの熱エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換して動力を発生するガスタービンに好適に適用され、前記軸シールは前記ガスタービンの回転軸の外周をシール可能に配設される。

典型的には、前記ガスタービンは、タービン軸に直列に高圧段から低圧段までの複数の動翼及び静翼が交互に設けられており、一以上の静翼と前記回転軸との間に前記軸シールを配設する。

ここで、前記軸シールを前記静翼の先端に固定しても良い。また、前記軸シールが、少なくとも最も高圧段の静翼と前記回転軸との間に配設されることが好ましい。

より具体的には、前記タービンは、ケーシングと、圧縮機と、回転軸と、前記回転軸に設けられた動翼と、前記ケーシングに、前記動翼と対向するように設けられた静翼とを有する。複数の静翼と前記回転軸との間に、前記軸シールを各薄板が前記回転軸に接するように配設し、定格運転時には、前記回転軸の回転により生じる動圧により、前記薄板の先端が該回転軸の表面から僅かに浮上し、運転停止時には前記薄板の弾性復元力によりその先端が再び前記回転軸に接する形態となる。これにより、上述した各種効果が得られる。

なお、本発明は、タービンの軸周りに配設された既存の軸シール（特に従来型のラビリンスシールやブラシシール）を、本発明の軸シールに取り替える改造方法をも提供する。

図面の簡単な説明

図 1 A は、本発明の第 1 実施形態におけるリーフシール（軸シール）の構成図であり、図 1 A はリーフシールの構成を示す斜視図、図 1 B はリーフシールを構成する薄板群の断面図である。

図 2 は、本発明の実施形態による軸シールが取り付けられるガスタービンの概略構成図である。

図 3 は、第 1 実施形態の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 4 A ～ 4 C は、本発明の第 2 実施形態のリーフシールの構成図であり、図 4 A はリーフシールの構成を示す斜視図、図 4 B はリーフシールを構成する薄板の断面図、図 4 C は図 4 B の要部拡大図である。

図 5 は、本発明の第 3 実施形態のリーフシールを構成する薄板の拡大図である。

図 6 A ～ 6 C は、第 3 実施形態のリーフシール薄板先端部の傾斜面加工方法を示す図で、図 6 A は加工開始前の状態、図 6 B は加工中の状態、図 6 C は加工完了後の状態である。

図 7 A 及び 7 B は、第 3 実施形態の浮力付与手段の別例を示す図であり、図 7 A はリーフシールの薄板の内周側先端部を示す拡大斜視図、図 7 B は圧力分布を示す図である。

図 8 A 及び 8 B は、第 3 実施形態の浮力付与手段の更に他の例を示す図であり、図 8 A はリーフシールの薄板の内周側先端部を示す拡大斜視図、図 8 B は圧力分布を示す図である。

図 9 は、本発明の第 4 実施形態のリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 10 は、第 4 実施形態のリーフシールを構成する薄板の展開図である。

図 11 は、第 4 実施形態の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 12 は、本発明の第 5 実施形態のリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 13 は、第 5 実施形態の、回転軸周りの側板と薄板との配置を示す断面図である。

図 14 は、第 5 実施形態の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図15は、本発明の第6実施形態のリーフシールの構成を示す斜視図である。

図16A、16Bは、それぞれ第6実施形態の、環状体180の円弧状分割体の接合部例を示す図である。

図17は、第6実施形態の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図18A、18Bは、本発明の第7実施形態のリーフシールの構成図であり、図18Aはリーフシールの構成を示す斜視図、図18Bはリーフシールを構成する薄板の断面図である。

図19A、19Bは、第7実施形態の変形例によるリーフシールの構成図であり、図19Aはリーフシールの構成を示す斜視図、図19Bはリーフシールを構成する薄板の断面図である。

図20A～20Cは、本発明の第8実施形態のリーフシールの構成図であり、図20Aはリーフシールの構成を示す斜視図、図20Bはリーフシールを構成する薄板の断面図、図20Cは図20B中のD-D面における断面図である。

図21は、第8実施形態の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図22は、本発明の第9実施形態のリーフシールの構成を示す斜視図である。

図23A～23Dは、図22に示す薄板の構成を示す図であって、図23Aは薄板の平面図、図23Bは、図23AのB-B矢視断面図、図23Cは、図23Aに示す薄板と突起位置の異なる薄板の平面図、図23Dは、図23CのC-C矢視断面図である。

図24は、図23Aおよび図23Cに示す薄板を交互に重ねた状態を示す側面図である。

図25は、図22に示す環状体を構成する円弧状分割体に薄板が固定された状態を示す斜視図である。

図26は、第9実施形態において、薄板の先端を放電研磨するに先だち、治具を使用して図25に示す円弧状分割体を環状に構成した状態を示す平面図である。

図27Aは、第9実施形態の変形例としてのリーフシール薄板の要部断面図であり、図27Bは、更に別の変形例としてのリーフシール薄板の要部断面図であ

る。

図 2 8 は、第 9 実施形態の更に別の変形例によるリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 2 9 は、本発明の第 1 0 実施形態の軸シール装置の回転軸心に沿う構成図である。

図 3 0 は、上記軸シール装置を装備したガスタービンの回転軸部の要部構造図である。

図 3 1 は、第 1 0 実施形態のリーフシールの構成を示す斜視図である。

図 3 2 は、第 1 0 実施形態における作用説明図である。

図 3 3 は、本発明の第 1 1 実施形態に係るリーフシールの部分構造図である。

図 3 4 は、本発明の第 1 2 実施形態に係るリーフシールの部分構造図である。

図 3 5 は、本発明の実施形態による軸シールが取り付けられるガスタービンの概略構成図である。

図 3 6 A は、図 3 5 の蒸気入口および出口近傍の拡大断面図、図 3 6 B は、図 3 6 A 中の破線 Q で囲った部分の拡大断面図である。

図 3 7 A、3 7 B は、従来のブラシシールの一例を示す図であって、図 3 7 A はブラシシールの断面図、図 3 7 B は、図 3 7 A における B - B 矢視断面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態例を、図面を参照して詳細に説明する。

第 1 実施形態

本発明の第 1 実施形態としての軸シール及びガスタービンの構成を、図 1 A、1 B および図 2 を参照して説明する。

図 2 はガスタービンの概略構成図である。図において、符号 7 は圧縮機、8 は燃焼器、9 はタービンである。圧縮機 7 は、多量の空気をその内部にとり入れて圧縮するものである。通常、ガスタービンでは、後述する回転軸 1 1 で得られる動力の一部が圧縮機の動力として利用されている。燃焼器 8 は、圧縮機 7 で圧縮

された空気に燃料を混合して燃焼させるものである。タービン 9 は、燃焼器 8 で発生させた燃焼ガスをその内部に導入して膨張させ、回転軸 11 に設けられた動翼 11 a に吹き付けることで燃焼ガスの熱エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換して動力を発生するものである。

タービン 9 には、回転軸 11 側の複数の動翼 11 a の他に、後述するケーシング 12 側に複数の静翼 12 a が設けられており、これら動翼 11 a と静翼 12 a とが回転軸 11 の軸方向に交互に配列されている。動翼 11 a は回転軸 11 の軸方向に流れる燃焼ガスの圧力を受けて回転軸 11 を回転させ、回転軸 11 に与えられた回転エネルギーは軸端から取り出されて利用されるようになっている。

静翼 12 a と回転軸 11 との間には、高圧側から低圧側に漏れる燃焼ガスの漏れ量を低減するための軸シール（機構）として、リーフシール 10 が設けられている。

図 1 A、図 1 B は、このリーフシール 10 の構成図であり、図 1 A はリーフシールの構成を示す斜視図、図 1 B はリーフシールを構成する薄板群の断面図である。なお、上記斜視図は、要部を一部破断して示しており、これは、説明の都合上、以下の実施形態においても基本的に同様である。

図 1 A、図 1 B において、符号 11 は回転軸、12 はケーシング、13 は低圧側側板、14 は高圧側側板、15 はろう付け部、18 は薄板（リーフ）、19 は各薄板 18 間の隙間である。リーフシール 10 は、図 1 A に示すように、回転軸 11 の軸方向に所定の幅を有する平板状の薄板 18 を回転軸 11 の周方向に多層に配置した構造になっている。

薄板 18 は、薄板 18 の外周側基端のみをケーシング 12 にろう付け（ろう付け部 15）されており、回転軸 11 の外周をシールすることによって回転軸 11 の周囲の空間を高圧側領域と低圧側領域とに分けている。また、薄板 18 の両側には、高圧側領域に高圧側側板 14 が、低圧側領域に低圧側側板 13 がそれぞれ圧力作用方向のガイド板として装着されている。

薄板 18 は板厚で決まる所定の剛性を回転軸 11 の周方向に持つように設計されている。また、薄板 18 は回転軸 11 の回転方向に対して回転軸 11 の周面となす角が鋭角となるようにケーシング 12 に取付けられており、回転軸 11 の停

止時には薄板 18 の先端は所定の予圧で回転軸 11 に接触しているが、回転軸 11 の回転時には回転軸 11 が回転することで生じる動圧効果によって薄板 18 の先端が浮上するため、薄板 18 と回転軸 11 とは非接触状態となる。

多層に配置した各薄板 18 どうしの間には、僅かに隙間 19 が設けられている。図 1 B に示すように、各薄板 18 は外周側基端と内周側先端とで各薄板 18 間の隙間 19 が一定になるように設定されており、半径座標 r において薄板 18 の接線と各薄板 18 による円の中心を通る線とがなす角度 θ が次式を満たすように変化している。

$$\begin{aligned}\sin \theta_1 &= t / T = t / (r_1 \psi) \\ \therefore t / \psi &= r_1 \sin \theta_1 = r \sin \theta \\ \therefore \sin \theta &= r_1 \sin \theta_1 / r\end{aligned}$$

但し、 t は薄板 18 の厚み t_0 と隙間 19 の距離 t_1 との和、 ψ は薄板 18 間の中心角、 T は薄板 18 内周の幅 ($= r_1 \psi$)、 θ_1 は薄板 18 先端の角度、 θ は薄板 18 基端の角度である。上記の式にしたがって薄板 18 を設計することにより、薄板 18 間の隙間 19 が外周側、内周側のいずれの箇所でも一定となっている。

上記のように構成された軸シール機構及びガスタービンにおいては、回転軸 11 の軸方向に幅を有する薄板 18 が回転軸 11 の周方向に多層に配置されており、これら薄板 18 が回転軸 11 の周方向に柔らかい可撓性を有し、軸方向には剛性の高い軸シール機構が構成されている。

この軸シール機構によれば、シール部材である薄板 18 が回転軸 11 の軸方向に配置されることにより、ケーシング 12 に固定される外周側のろう付けは回転軸 11 の軸方向に強固なものとなる。これにより、従来のブラシシールに見られるケーシングからのワイヤ脱落のように、薄板 18 がケーシング 12 から脱落するのを防止することができる。また、隙間 19 の存在により、回転時にもシールがこわれず、耐久性が高いという利点がある。

また、薄板 18 の先端は回転軸 11 の軸方向に剛性が高く回転軸 11 の周方向には柔らかいので、従来のブラシシールに比べて差圧方向への変形を起こし難くなり、大きな差圧までシールすることが可能である。

共振点通過時など回転軸 11 の振動が大きいときには薄板 18 が変形して回転軸 11 との接触が緩和されることに加え、定格条件では回転軸 11 の回転によって生じる動圧効果により薄板 18 の先端が回転軸 11 の表面から浮上して回転軸 11 との接触が回避されるので、薄板 18 と回転軸 11 との接触による過大な発熱および摩耗を防止することができる。さらに、薄板 18 と回転軸 11 との接触による発熱が防止されることにより、回転軸 11 におけるサーマルバランスによる振動の発生を回避することができる。

また、隙間 19 を外周側と内周側とで等しくすることで薄板 18 をより密に配置することが可能となり、薄板 18 の先端と回転軸 11 との隙間を非接触型のラビリンスシールなどと比べて飛躍的に小さくすることができる。これにより、ラビリンスシールの $1/3 \sim 1/10$ 程度まで漏れ量を低減することが可能となり、結果的にガスタービン（軸）の効率を 1% 程度向上させることができる。

ここで、ガスタービンの効率とは「軸出力／燃料カロリー」で定義される。一般には、上記効率は 38～40%（従来型ラビリンスシールで測定）であり、これ以上の上昇は困難とされているが、本発明の軸シールを用いることにより、これを 39～41%（1，2，3 段目の静翼にリーフシールを設置して測定）に向上させることができる。

即ち、従来型に比べ、1%の効率向上が実現される。これによりどの程度の燃料節約が可能かを示すため、コンバインドサイクル発電（出力 161 万 kW クラス）の例で試算すると、1%の効率向上により、年間約 3.5 万トンもの節約となる。

ところで、上記実施の形態においては薄板 18 間の隙間 19 が一定になるようにすべての薄板 18 が一様に湾曲した形状となっているが、回転軸 11 の外径が比較的大きい場合には薄板を湾曲させなくとも薄板間の隙間をほぼ一定と見なすことができる。そこで、図 3 に示すように平板状の薄板 18' をケーシング 12 の内面に植設してリーフシール 10' を構成しても構わない。これについては、以下の実施形態例でも詳しく説明する。

第 2 実施形態

以下、本発明の第2実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。本実施形態のガスタービン及びリーフシールの基本構成は第1実施形態のガスタービンと同一であり、対応する構成要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。即ち、前述した各効果については、本実施形態においても同様の効果が得られる。また、以下の各実施形態についても同様の省略を行う。

図4A～4Cは、本第2実施形態のリーフシール10の構成図であり、図4Aはリーフシールの構成を示す斜視図、図4Bはリーフシールを構成する薄板群の断面図、図4Cは図4Bの要部拡大図である。

本実施形態においては、リーフシール10の薄板18が、回転軸11の回転方向に対して回転軸11の周面となす角度 α （図4C参照）が30～45度の範囲の鋭角となるように、ケーシング12に取付けられている。

多層に配置した各薄板18どうし間の隙間19は、シール径が十分に大きいため、換言すれば回転軸11の径が十分に大きいため、外周側基端から内周側基端までほぼ一定と見なすことができる。

しかも、薄板18は、回転軸11の回転方向に対して回転軸11の周面となす角度 α が30～45度の範囲の鋭角となるようにケーシング12にろう付けされているので、回転軸11の回転に対する抵抗は小さなものである。発明者の実験によれば、角度 α が30度より小さくなると、動圧効果によって薄板18の先端部が必要以上に浮きやすくなるので、シール性の面で問題がある。これとは反対に、角度 α が45度より大きくなると、回転軸11の振動時などの接触で薄板18が回転軸11の回転に対する抵抗となりやすいことがわかっている。

すなわち、角度 α が30～45度の範囲の鋭角であれば、上述した薄板18と回転軸11との接触による過大な発熱および摩耗の防止や回転軸11におけるサーマルバランスによる振動の発生の回避をより確実に行うことができる。

本実施形態においては、シール径が十分に大きいため平板状の薄板18を使用しても隙間19は外形側から内径側までほぼ一定になる。しかしながら、シール径が比較的小さい場合には、上記第1実施形態のように、全ての薄板を半径方向で曲率に変化するよう一様に湾曲させた円弧状の形状とするとよい。このようにすれば、回転軸11の外径が比較的小さくても、薄板間の隙間をほぼ一定にする

ことができる。

第3実施形態

以下、本発明の第3実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール10は、上記第2実施形態で参照した図4Aに示す基本構成を有し、即ち、薄板18は、回転軸11の回転方向に対して回転軸11の周面となす角度 α が所定の鋭角となるようにケーシング12に取付けられている。

更にここでは、図5の拡大図に示すように、その回転軸11側の先端部に、浮力付与手段となる傾斜面2018aが形成されている。この傾斜面2018aは、回転軸11の周面511aに対して回転方向へ徐々に接近していくように形成されたものであり、周面511aとの角度 β は微小である。

従って、回転軸11の回転時、すなわちガスタービンの運転時には、薄板18が角度 α の鋭角で取り付けられているために回転軸11が回転することで生じる動圧効果によって薄板18の先端が浮上することに加え、傾斜面2018aと周面511aとの間の間隙が回転方向へ徐々に狭まることによって生じるくさび効果による動圧によっても、圧力分布20（図5参照）のように浮力が付加されるため、薄板18と回転軸11とは容易に非接触状態となる。

ここで、上述した薄板18先端部の傾斜面加工方法を、図6A～6Cに基づいて説明する。

この傾斜面2018aは、平板状の薄板18における内周側（回転軸11側）の先端部に形成されるもので、各薄板18の外周側基端をケーシング12の所定の位置に所定の鋭角でろう付けにより固定した状態（図6A参照）から加工を開始する。ここで、薄板18は周面511aに対して角度 α の鋭角で取り付けられており、平板状薄板18の先端部を放電研磨や研削などにより加工して傾斜面2018aを形成する。

図6Bは、研削加工の様子を簡単に示したもので、図中の符号21は砥石である。この砥石21は、回転しながら回転軸11の回転方向と同様の白抜き矢印22の方向へ回転軸11の周面511aとほぼ平行に進んで薄板18の先端部を研

削加工する。この時、自由端となっている薄板 18 の内周側先端部は砥石 21 に押圧されて持ち上げられるので、傾斜角度が α から α' に変化した状態で研削加工が実施される。従って、加工された傾斜面 2018a は、薄板 18 の傾斜角度が α' の状態で周面 511a とほぼ平行になる。

なお、傾斜面 2018a の加工法として放電研磨を採用する場合には、適当な治具などを用いて薄板 18 を保持することにより、傾斜角度を α から α' に予め変化させた状態で加工を実施すればよい。

図 6C は加工完了後の状態を示したもので、研削加工の場合は砥石 21 による押圧から解放されて、そして放電研磨の場合は治具による保持から解放されて、傾斜角度は α' から α に戻っている。この結果、傾斜角度 α' で回転軸 11 の周面 511a とほぼ平行に研削加工された傾斜面 2018a は、周面 511a に対して α と α' との差に相当する角度 β の微小角度を有することになる。

このような傾斜面加工方法を採用することにより、自由端となる薄板 18 の回転軸 11 側先端部を加工して傾斜面 2018a を容易に形成することができる。

このように、薄板 18 の回転軸 11 側先端部に傾斜面 2018a を設けたので、ガスタービン運転時には回転軸 11 の回転によって生じる動圧により、鋭角に取り付けられた薄板 18 に作用する浮力に加えて、薄板 18 の先端にも浮力が作用することになる。このため、薄板 18 はこれらの浮力を受けて浮上し、回転軸 11 と容易に非接触状態となる。

なお、浮力付与手段としては、この他にもいくつかの変形例が可能である。

図 7A 及び 7B は、浮力付与手段の別例を示すもので、薄板 18 の回転軸 11 側先端面 18b は周面 511a と平行に形成され、かつ、その先端面 18b には軸方向ステップ 23 が形成されている。この軸方向ステップ 23 は、図 7B に示すように、高圧領域側の隙間が低圧領域側の隙間より大きくなるように高さ h の段差を設けたものである。

このような軸方向ステップ 23 を設けると、図 7B に示す圧力分布 24 のように高圧領域と低圧領域とで差圧 ΔP が生じるので、この差圧が薄板 18 に対して先端部を浮上させる方向の力として作用する。

なお、図中の差圧 ΔP は、高圧領域の圧力 P_A から低圧領域の圧力 P_B を引き

たものであり、 $\Delta P = P_A - P_B$ で表される。

図 8 A 及び 8 B は、浮力付与手段の更に他の例を示すもので、薄板 1 8 の回転軸 1 1 側先端面 1 8 b は周面 5 1 1 a と平行に形成され、かつ、その先端面 1 8 b には周方向ステップ 2 5 が形成されている。この周方向ステップ 2 5 は、図 8 B に示すように、回転軸 1 1 の回転方向側の隙間が狭くなるように高さ h' の段差を設けたものである。

このような周方向ステップ 2 5 を設けると、回転軸 1 1 の回転により生じる動圧効果で、薄板 1 8 の先端部に対し、図 8 B に示す圧力分布 2 6 のような浮力が作用する。

上記各別例に示した、軸方向ステップ 2 3 や周方向ステップ 2 5 のような浮力付与手段を設けても、上述した傾斜面 2 0 1 8 a の場合と同様に、ガスタービン運転時には回転軸 1 1 の回転によって生じる動圧により、鋭角に取り付けられた薄板 1 8 に作用する浮力に加えて、薄板 1 8 の先端にも浮力が作用することになる。このため、薄板 1 8 はこれらの浮力を受けて浮上し、回転軸 1 1 とは容易に非接触状態となる。

第 4 実施形態

以下、本発明の第 4 実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール 1 0 もまた、上記第 2 実施形態で参照した図 4 A に示す基本構成を有し、即ち、薄板 1 8 は、回転軸 1 1 の回転方向に対して回転軸 1 1 の周面となす角度 α が所定の鋭角となるようにケーシング 1 2 に取付けられている。

本実施形態においては、図 9 に示すように、薄板 1 8 の先端が、前記回転軸 1 1 の軸線と平行な周面上の線 1 1 1 1 と角度 ϕ を持って摺動する位置に設けられ、かつ、高圧側から加圧された際に、これら薄板 1 8 の先端が前記回転軸 1 1 から離間する状態に設定されている。

薄板 1 8 を、該薄板 1 8 の先端が前記回転軸 1 1 の軸線と角度 ϕ を持って摺動する位置に設けることにより、図 1 0 に示すように、回転軸 1 1 の軸方向長さ比べて薄板 1 8 間に形成される流路長を増大して、流路抵抗を増やすことができ

る。このため、このリーフシール 10 に対して高圧側から低圧側に漏れる漏れ量を少なくすることが可能となる。

本実施形態においても、例えば、回転軸 11 の外径が比較的小さい場合には、図 11 に示すように、薄板 18' 間の隙間 19' が一定になるようにすべての薄板 18' が一様に湾曲した形状とし、薄板 18' 間の隙間をほぼ一定として、この曲面状の薄板 18' をケーシング 12 の内面に植設してリーフシール 10 を構成しても構わない。

第 5 実施形態

以下、本発明の第 5 実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール 10 もまた、上記第 2 実施形態で参照した図 4 A に示す基本構成を有し、即ち、薄板 18 は、回転軸 11 の回転方向に対して回転軸 11 の周面となす角度 α が所定の鋭角となるようにケーシング 12 に取付けられている。

図 12 は、本実施形態のガスタービンに設けられた軸シールの構成を示す斜視図であり、図 13 は、回転軸周りの側板と薄板とを示す断面図である。

これらの図に示すように、本実施形態においては、低圧側側板 13 および高圧側側板 14 は、前記薄板 18 の両側に回転軸 11 の全周に亘って設けられて、これら低圧側側板 13 および高圧側側板 14 と薄板 18 との間には、薄板 18 が作動可能な間隔のみが設けられるとともに、前記薄板 18 の回転軸 11 半径方向略全幅を覆って設けられる。

即ち、これら低圧側側板 13 および高圧側側板 14 の先端と前記回転軸 11 との間隔が、前記薄板 18 の両側で等しく設定され、前記間隔を前記回転軸 11 が回転可能な隙間のみとすることにより、薄板 18 付近に形成される流路長を増大し、薄板 18 付近においてより流路抵抗を増やすことができる。

また、前記薄板 18 と前記側板 13, 14 との隙間が、前記薄板 18 の両側で互いに等しく設定され、前記薄板 18 が差圧方向に変形することを、より確実に防止している。

更に、低圧側側板 13 および高圧側側板 14 により薄板 18 にかかる高圧側か

らの圧力と低圧側からの吸引力とが低減され、薄板 18 が差圧方向への変形を起こし難くなる。

以上のような構成により、このリーフシール 10 に対して高圧側から低圧側に漏れる漏れ量を少なくすることが可能となる。

また、本実施形態においても、回転軸 11 の外径が比較的小さいような場合には、図 14 に示すように、薄板 18' 間の隙間が一定になるようにすべての薄板 18' が一様に湾曲した形状とし、薄板 18' 間の隙間をほぼ一定として、この曲面状の薄板 18' をケーシング 12 の内面に植設してリーフシール 10 を構成しても構わない。

第 6 実施形態

以下、本発明の第 6 実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール 10 の構成を、図 15 に示す。図に示すように、本実施形態では、環状体 180、低圧側側板 190、高圧側側板 200 が設けられている。リーフシール 10 は、上述した各実施形態と同様の多層配置構造を有する。

即ち、薄板 18 の両側には、高圧側領域に高圧側側板 200 が、低圧側領域に低圧側側板 190 がそれぞれ圧力作用方向のガイド板として環状体 180 と一体に形成されている。

図 15 に示すように、環状体 180 は、ケーシング 12 の内面に沿って周方向に配設された溝 12a に埋め込まれており、薄板 18 の先端は回転軸 11 の外周に摺接して回転軸 11 とケーシング 12 との間をシールしている。また、環状体 180 は複数の円弧状分割体 180a から構成されており、各円弧状環状体 180a がケーシング 12 の内面に沿って周方向に配設されることで環状をなしている。

円弧状分割体 180a どうしが突き合わされる端面は、図 16A に示すように周方向に突出する段付き形状とされ、円弧状分割体 180a、180a どうしの接合部 220 をなす分割面 F は、周方向に段が設けられた食い違い面とされている。さらに、接合部 220 には、円弧状分割体 180a、180a を連結するピ

ース 230 が装着されることで環状体 180 の一体化が図られている。

上記のシール機構においては、接合部 220 をなす円弧状分割体 180 a、180 a 間に侵入しようとする高圧の燃焼ガスが、段をなす分割面 F に突き当たって侵入を阻止される。これにより、接合部 220 からの燃焼ガスの漏れを防止することができる。また、分割面が噛み合うことによって円弧状分割体 180 a、180 a 間の軸方向のずれが防止されるので、環状体 180 を補強することができる。

ところで、接合部 220 をなす分割面の形状は、図 16 B に示すような凹凸の組み合わせとしてもよい。

上記構成においては、薄板 18 間の隙間 19 が一定になるように、すべての薄板 18 が一様に湾曲した形状となっているが、回転軸 11 の外径が比較的大きい場合には、上述のように、薄板を湾曲させなくとも薄板間の隙間をほぼ一定と見なすことができるので、図 17 に示すように、平板状の薄板 18' をケーシング 12 の内面に植設してリーフシール 10' を構成しても構わない。

第 7 実施形態

以下、本発明の第 7 実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール 10 の構成を図 18 A に、該リーフシールを構成する薄板の断面図を図 18 B に示す。

これらの図に示すように、本実施形態では、各薄板 18 は、回転軸 11 の回転方向に対して回転軸 11 の周面となす角が鋭角となるようにケーシング 12 に取付けられることに加え、各薄板 18 は、例えば 5 枚毎に単位セグメント 120 としてまとめられ、これら単位セグメント 120 間には、間隔 121 が設けられている。

このように、各単位セグメント 120 間に間隔 121 を設けたことで、動圧効果によって各薄板 18 の先端部が浮上する際に、各薄板 18 は、隣の単位セグメント 120 の薄板 18 の干渉を受けにくく、浮上しやすくなり、各薄板 18 と回転軸 11 との接触をより回避しやすい構造とすることが可能となる。

上記構成においては、シール径が十分に大きい場合ので、平板状の薄板 18 を

使用しても隙間 19 は外径側から内径側までほぼ一定となる。しかしながら、シール径が比較的小さい場合には、図 19 A、19 B に示す変形例のように、全ての薄板 18' を半径方向で曲率が変化するように一様に湾曲させた円弧状の形状とすると良い。このようにすれば、回転軸 11 の外径が比較的小さくても、各薄板 18' 間の隙間 19' をほぼ一定にすることができる。

また、各単位セグメント 120、120' あたりの薄板 18、18' の枚数は、5枚に限らず、例えば 5枚としたものと 10枚としたものとを交互に配するなど、適宜その枚数および枚数分布を変更しても良い。

また、各単位セグメント 120 間の間隔 121 は、適用する軸シール及びガスタービンの設計条件に合わせて、場所毎に適宜その寸法を変えた設計としても良い。

第 8 実施形態

以下、本発明の第 8 実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール 10 の構成を図 20 A に、該リーフシールを構成する薄板の断面図を図 20 B に、図 20 B における D-D 面における断面図を図 20 C に示す。

これらの図に示すように、本実施形態では、回転軸 11 の各薄板 18 が摺動する部分には、該回転軸 11 の周面近傍の流体を該回転軸 11 の遠心力により各薄板 18 に向けて送り出す送流部 520 が設けられている。この送流部 520 は、回転軸 11 と同軸かつ回転軸 11 の周面に対して間隙 521 を有するように配置されたリング部 520 a と、該リング部 520 a を回転軸 11 に固定する固定部 520 b とからなり、リング部 520 a には、回転軸 11 の軸心に対して垂直に形成された、円形状を有する複数の通気孔 520 c が設けられている。

回転軸 11 の停止時には、各薄板 18 の先端は所定の予圧で回転軸 11 に接触しているが、回転軸 11 の回転時には、回転軸 11 の回転によって生じる動圧効果と、送流部 520 の通気孔 520 c から供給される流体圧力により、各薄板 18 の先端が浮上するため、各薄板 18 と回転軸 11 とは非接触状態となる。

このように送流部 520 を設けたことにより、回転軸 11 近傍の流体は回転軸

11の遠心力により各薄板18に向けて送り出されるので、この流体圧力により、各薄板18の先端の浮上が促進され、薄板18と回転軸11との接触による過大な発熱および摩耗をより確実に防止することが可能となる。

上記構成においては、シール径が十分に大きいため、平板状の薄板18を使用しても隙間19は外径側から内径側までほぼ一定となる。しかしながら、シール径が比較的小さい場合には、図21に示すように、全ての薄板18'を半径方向で曲率が変化するように一様に湾曲させた円弧状の形状とすると良い。このようにすれば、回転軸11の外径が比較的小さくても、各薄板18'間の隙間19'をほぼ一定にすることができる。

また、上記実施形態では、送流部520は、回転軸11の周面にリング形状のものを設けた構成としたが、これに限らず、各薄板18、18'の浮上を促進するように回転軸11近傍の流体を各薄板18、18'に送り出す構成であれば良く、回転軸11の周面からその半径方向内側に向かって掘り下げられた穴、または孔、またはスリットを代わりに設けた構成としても良い。

また、上記実施形態では、送流部520における流体の取り入れは、高圧側領域の流体を取り入れる構成としたが、送流部520の取付を裏表逆にすることで、低圧側領域の流体を取り入れる構成としても良い。

また、上記実施形態では、通気孔520cは円形状としたが、楕円形状、四角形状など、その他の形状を採用しても良く、さらには、スリット形状やメッシュ形状のものとしても良い。

また、上記実施形態では、通気孔520cは、回転軸11の軸心に対して垂直としたが、これに限らず、薄板18、18'の先端をより効果的に浮上させるためにリング部520aの外周面に対して傾斜させたものとしても良い。

更に、上記実施形態では、各通気孔520cは、回転軸11の軸方向においては1カ所だけ設けた構成としたが、その孔径を小さくして複数箇所設け、均一な流体の流れを薄板18、18'に与えるような構成としても良い。

また、薄板18、18'の形状などの設計条件に応じて、各通気孔120cの通気孔面積を、場所毎に変えて流量調整を行う構成としても良い。

第9実施形態

以下、本発明の第9実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

本実施形態のガスタービンに設けられたリーフシール10の構成を図22に示す。本構成は、前掲図17に示す構成と基本構成を同じくし、薄板18は、回転軸11の軸方向に所定の幅 w を有する略長方形板状とされている。ここでは、厚さ方向を向く一方の面には、他方の面を凹ませることにより突出させられた突起（隙間形成部）18aが形成されている。

図23A～23Dは、図22に示す薄板の構成を示す図であって、図23Aは薄板の平面図、図23Bは、図23AのB-B矢視断面図、図23Cは、図23Aに示す薄板と突起位置の異なる薄板の平面図、図23Dは、図23CのC-C矢視断面図である。

本実施形態において、薄板18の各部の寸法は、図23Aを参照して、 $w = 5 \sim 10\text{mm}$ 、 $L_1 = 30\text{mm}$ 、 $L_2 = 5\text{mm}$ 、 $s_1 = 1\text{mm}$ 、 $s_2 = 1.5\text{mm}$ となっている。

また、薄板18の板厚 t は、回転軸11の周方向に所定の剛性を持つように設計され、本実施形態では、板厚 t は 0.1mm に設定している。

突起18aの突出高さ h は、薄板18間に形成すべき隙間19に合わせて適宜設定される。ちなみに、リーフシール10において高いシール性を確保するためには、この隙間19を $10\mu\text{m}$ 程度に設定しておくことが好ましい。

本実施形態では、突起18aの突出高さ h を $10\mu\text{m}$ に設定している。このような微小突起18aは、薄板18を精密プレスすることで複数を同時に形成することができる。本実施形態では、これら突起18aは、薄板18の幅方向（回転軸11の軸方向）には3列、長さ方向には2列形成されている。

また、突起18は、図23A及び23C内に破線で示すように、薄板16の外周側基端から長さ方向に所定長離間した位置に至るまでの領域X内に形成される。この領域Xは、薄板18の外周側基端を環状体180にろう付けした際のとけ込み域と一致する。

また、薄板18には、外周側に配された突起18aの外周側基端からの距離 s_3 が 1mm に設定されたもの（符号18A）と、 2mm に設定されたもの（符号18B）とがある。

また、突起 18 a の長さ方向の離間距離 s_4 は、2mmとされている。

そして、これら二種類の薄板 18 A、18 B は、図 24 に示すように、突起 18 a を介して互いに当接するように重ね合わされる。これにより、薄板 18 間には、10 μ m の微小隙間 19 が容易かつ精度良く確保されることになる。

隙間 19 は、シール径、換言すれば回転軸 11 の径が十分に大きいため、外周側基端から内周側先端まで実質的にほぼ一定と見なすことができる。

なお、図 24 では、突起 18 a を見やすくする便宜上、ハッチングを施している。

次に、本実施形態におけるリーフシール 10 の製作工程について説明する。

まず、フォトエッチングにより、素板を上記所定寸法からなる複数の薄板 18 に分割する。例えば、回転軸 11 の軸径が $\phi 350$ の場合には、約 10,000 枚の薄板 18 を作製する。

次いで、精密プレスにより、隙間形成部を構成する突起 18 a を薄板 18 に形成し、環状体 180 に組み込む。

この環状体 180 は、複数の円弧状分割体 31（図 25 参照）から構成されており、各円弧状分割体 31 が周方向に沿って相互に連結されることで、環状をなしている。

環状体 180 の分割数は、回転軸 11 の軸径に応じて設定されていて、例えば回転軸 11 の軸径が $\phi 350$ の場合には二分割、 $\phi 1000$ の場合には六分割とされている（図 26 参照）。

薄板 18 は、その外周側を円弧状分割体 31 に溶接することで固定される。

溶接方法としては、レーザー、EBW、TIG 等の周知のものが採用される。なお、図 25 中のハッチング領域は、溶接のとけ込み域である。

次に、薄板 18 を固定した円弧状分割体 31 の外周面 31 A および内周面 31 B を切削加工することで、ケーシング 12 に組み込む際の基準面を形成する。

その後、図 26 に示すように、円弧状分割体 31 を治具 32 に組み入れ、環状をなすように組み立てる。

しかる後、所定のシール径となるように、薄板 18 の先端を放電研磨する。

シール径は、例えば回転軸 11 の軸径が $\phi 350$ の場合には、その値から 0.5mm を

減じた寸法に設定される。

そして、ガスタービンへの組み込みは、治具 32 から円弧状分割体 31 を取り外し、これらを回転軸 11 の周りに配置してケーシング 12 に固定することにより、行われる。

即ち、本実施形態においては、精密プレスで薄板 18 の一部に突起 18a を設け、この突起 18a を介して各薄板 18 を互いに当接させることにより、シール性能の優劣を左右する薄板 18 間の隙間 19 を形成するようにしているため、所定の微小隙間 19 を容易かつ精度良く確保することができる。

また、隙間形成部をなす突起 18a を、薄板 18 の一部を変形させることによって形成しているため、部品点数の増加を招くことがない。

以上のことから、本実施形態によれば、高いシール性が保証されることに加えて、薄板 18 の環状体 180 への固定作業を簡易にして生産性の向上を図ることができ、しかも、厳格な工程管理も不要にして低コスト化を図ることができる。

次に、本実施形態の変形例について、図 27A を参照しながら説明する。

上述の実施形態では、薄板 18 に設ける隙間形成部として、精密プレスにより形成した突起 18a を採用したものについて説明したが、本実施形態では、隙間形成部として、薄板 18 の一部に溶融メッキで形成したメッキ層 41 を採用するものである。

すなわち、溶接のとけ込み域である領域 X の部分に、例えば Cr メッキを施すことにより、薄板 18 の表面にメッキ層 41 による段差を形成し、これを隙間形成部とするものである。

例えば、薄板 18 間の隙間 19 を $10\mu\text{m}$ に設定する場合には、表側および裏側の面に $5\mu\text{m}$ のメッキ層 41 をそれぞれ形成する。

このような構成においても、メッキ層 41 を介して薄板 18 を互いに当接させて重ね合わせれば、上述の実施形態と同様に、薄板 18 間の隙間 19 が内外周間で確実に均一かつ所定の微小隙間に設定されることになる。

また、メッキ層 41 の厚さは、 $1\mu\text{m}$ 刻みのオーダーで形成することができるため、回転軸 11 の全周にわたって各薄板 18 間の隙間を精度良く形成することができ、高いシール性を確実に確保し得るリーフシール 10 およびガスタービン

を構成することができる。

なお、本発明に係る隙間形成部は、上述の突起 18 a およびメッキ層 41 に限らず、薄板 18 に一体固定されるスペーサや、薄板 18 の一部を他の部分よりも厚く形成してなる厚肉部としても構わない。

また、図 27 B に示すように、薄板 18 の領域 X の部分を除く領域 Y の部分にエッチングを施すことにより、エッチングされていない領域 X の部分とエッチングされた領域 Y の部分との間に段差を形成するようにしてもよい。

この場合には、薄板 18 間の隙間 19 を精度良く形成することができるため、シール性の更なる向上を図ることができる。

さらに、本発明に係るリーフシール 10 の薄板 18 は、長方形板状に限らず、断面が円弧状に湾曲するものであっても構わない。

かかる構成とした場合には、薄板 18 間の隙間 19 を外周側基端から先端にかけて精度良く均一にすることが可能になる。

また、薄板 18 は、板厚で決まる所定の剛性を回転軸 11 の周方向に持つように設計されているため、図 22 に示すような長方形板状とされていると、薄板 18 と回転軸 11 との相対変位時の摺動により、薄板 18 の先端角部 18 b が回転軸 11 の外周面に損傷を与える可能性がある。

そこで、かかる回転軸 11 の損傷を防止するためには、図 28 に示すように、外周側基端がケーシング 12 に固定される薄板 18 の先端側（内周側）エッジ部 18 c を、面取り加工する等して円弧状（例えば、 $R=0.5\text{mm}$ ）に形成しておくことが好ましい。

このように、薄板 18 の先端側エッジ部 18 c を円弧状に形成しておけば、回転軸 11 の外周面に薄板 18 の先端が微少部分で接触するといったことがなくなり、回転軸 11 に作用する薄板 18 からの圧力が低下する。

このため、先端に角部を有する薄板を採用した従来のシール機構に見られるような回転軸 11 の損傷を効果的に防止し得て、回転軸 11 の長寿命化を図ることができる。

第 10 実施形態

以下、本発明の第10実施形態としてのガスタービンの構成を説明する。

図29は本実施形態の軸シール装置の回転軸心に沿う構成図、図30は上記軸シール装置を装備したガスタービンの回転軸部の要部構造図である。

本実施形態におけるガスタービン（図30）において、11は回転軸（ロータ：回転軸心911a）、11aは動翼で、各動翼11aは前記回転軸11のロータディスク33の外周に植設されている。12aは静翼で、前記各動翼11aの前段に設けられている。

本実施形態に係る軸シールは、ロータエンド部34、静翼12aの内周部等に設けられており、2aは支持環、815は静翼12aの内周のロータディスク33とのシール部に設けられたリーフシール（薄板シール環）、815a、815b、815c、815dは前記ロータエンド部34に4段に設けられたリーフシールである。

810は該リーフシール815a～815dの高圧側である高圧室、811は低圧室である。

各リーフシールは、図31に示すように、上記各実施形態と同様の基本構成を有し、薄板118が回転軸11の周方向に多層に配置した構造となっている。該薄板118は、回転軸11の回転方向に対して回転軸11の周面となす角が鋭角となるように取付けられている。

本第10実施形態においては、前記のようなリーフシール815の取付構造を次のように構成する。

即ち図29において、810は高圧室、811は低圧室であり、この実施形態では前記高圧室810と低圧室811との間に4段のリーフシール815a、815b、815c、815dが装着されている。

各段のリーフシールは、図31と同様、高圧側側板14、低圧側側板13及びケーシング12からなる支持環2aに、軸方向幅の異なる薄板118a、118b、118c、118dを装着してなる。即ち高圧室810寄りの第1段リーフシール815aには軸方向幅 L_1 なる薄板118a、第2段リーフシール815bには軸方向幅 L_2 なる薄板118b、第3段リーフシール815cには軸方向幅 L_3 なる薄板118c、第4段リーフシール815dには軸方向幅 L_4 なる薄板1

118dがそれぞれ固着されている。

そして、前記各薄板118a～118dの軸方向幅Lは、次の(3)式によって設定する。

$$L = k (P_i^2 - P_{i+1}^2) / G \quad \dots (3)$$

ここで、G＝各段の流体（ガス）漏れ流量（重量流量）、 P_i ＝各段の高圧側の圧力、 P_{i+1} ＝各段の低圧側の圧力、k＝係数である。

従って、図32に示すように、高圧室810の圧力が P_0 （この例では $P_0 = 36 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ ）、低圧室11の圧力が P_a （この例では $P_a = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ ）、各段間の圧力が P_1 （ $28 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ ）、 P_2 （ $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ ）、 P_3 （ $11 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ ）であるとき、これらの圧力値及び漏れ流量Gを上記(3)式に代入して、各段のリーフシール815a～815dにおける薄板118a～118dの幅を設定する。

これにより、高圧室810の圧力 P_0 から低圧室811の圧力 P_a まで低下させるのに必要なリーフシール（815a～815d）の段数及び薄板118a～118dの幅 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 を求めることができる。

即ち、この実施形態においては、各段のリーフシール815a～815dを構成する薄板118a、118b、118c、118dの幅 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 を、高圧室810寄りの第1段で最大とし、順次小さくして第4段で最小となるように設定し（即ち、 $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ ）、これにより、高圧室810内の圧力 $P_0 = 36 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ から所要の低圧室811内圧力 $P_a = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ f}$ （大気圧）まで低下させている。

即ち、本実施形態によれば、リーフシールを複数段設けて、各段の薄板118a～118dの軸方向幅を、各段における差圧（ $P_i - P_{i+1}$ ）及び流体漏れ量Gの双方の関連を示す(3)式によって設定することにより、高圧室810内の流体（ガス）の低圧室811側への漏れ量を最少値に抑えることができる。

なお、前記リーフシールは複数段であればよく、また薄板の軸方向幅は同一でも各段の幅が不等幅でもよい（必ずしも $L_1 > L_2 > L_3 \dots$ でなくても良い）。

第 1 1 実施形態

以下、本発明の第 1 1 実施形態としてのリーフシールの構成を説明する。

図 3 3 は本実施形態に係るリーフシール 9 1 5 の要部構造図である。

この実施形態においては、リーフシール 9 1 5 の薄板 1 8 を、円周方向において複数箇所（6 箇所程度が好適）において、根元部 8 1 を残し自由変形部分を除去して、この部分の薄板 8 の円周方向ピッチを他の部位よりも大きく形成して、該部に逃がし通路 4 0 を形成する。

この場合、前記薄板 1 8 間の隙間 1 9 の幅が通常 0. 0 1 mm 程度に対して、該逃がし通路 4 0 の幅は 0. 1 mm 程度とするのが好ましい。

かかる実施形態によれば、リーフシール 9 1 5 の高圧側と低圧側との差圧が増大しようとする際において、高圧側の圧力の一部が円周方向複数箇所に形成された逃がし通路 4 0 を通って低圧側に開放され、これによって差圧の増大が回避され、かかる差圧の増大による薄板 1 8 の破損の発生が防止される。

第 1 2 実施形態

以下、本発明の第 1 2 実施形態としてのリーフシールの構成を説明する。

図 3 4 は本実施形態を示すリーフシールの部分構造図である。

この実施形態においては、リーフシール 7 1 5 を構成する薄板 1 8 を複数枚（5 0 ～ 1 0 0 枚程度が好ましい）を 1 ブロック（単位セグメント）とし、これら 1 ブロックの薄板 8 を、図 3 4 に示すように、薄板 1 8 よりも充分に厚肉の主リーフ 6 2 0 に固定したブロック体を円周方向に複数個連設し、接続している。主リーフ 6 2 0 は、該薄板 1 8 の正面形状に近似したリーフ部 6 2 0 a と、該リーフ部 6 2 0 a の内周側に連設され、回転軸 1 1 の外周面と微小間隙 6 2 0 c を介して配置されたスカート部 6 2 0 b とよりなる。

該各ブロック体の外周側はケーシング（図示略）にろう付け（1 5 はろう付部）を施している。

本実施形態によれば、薄板 1 8 の複数枚を 1 ブロックとして主リーフ 6 2 0 によって支持することにより、リーフシール 7 1 5 の剛性が増大し、高圧部と低圧

部との差圧が大きい場合や振り荷重が作用する場合であっても、薄板 18 の破損を生ずることなく、流体シールを実現できる。

また、主リーフ 620 のスカート部 620b の内周と回転軸の外周との間を前記差圧と動圧効果によって非接触とすることができる。

以上説明した上記各実施形態においては、本発明による軸シール（装置）を主として回転軸の静翼に取り付けた例を説明したが、本発明の実施形態はこれに限らず、例えば前掲図 2 に対応する図 35 に示すように、本発明による軸シールを、圧縮機吐出部位置（即ち、リーフシール 1010）、または中間軸位置（即ち、リーフシール 1020）に設けても良い。

また、図 35 の回転軸 11 は詳細には二重構造となっており、蒸気入口 1050 から内管 11C 内に供給された冷却蒸気は、回転軸 11 の動翼内の流路を流れ、動翼の熱を奪って冷却し、蒸気出口 1060 より排出される。この部分の拡大断面図を図 36A に示す。

図 36A において、リップ 11B は、回転軸 11 と内管 11C との連結手段である。同図においては、本発明による軸シールを、図中 1100 に示すような位置（同図では 5 カ所）に設けている。

その取り付けの様子を、図 36B（図 36A 中の破線 Q で囲った部分の拡大図）に示す。同図に示すように、ケーシング 12 に、低圧側側板 13、高圧側側板 14 に挟まれた薄板 18 群が取り付けられている。

ここで、回転軸 11 と各軸シールとの隙間は $10 \sim 20 \mu\text{m}$ である。一方、従来型ラビリンスシールの場合は $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ の隙間があり、従って、上記リーフ型軸シールの場合に係る隙間からの漏れはほとんどなく、各薄板間基端部分の隙間から、蒸気の大半が層流流れとなって低圧段側に流れるので効率的である。

なお、ガスタービンの種類としては、燃焼ガスを利用してタービン軸を回転させて動力を得る一般的なガスタービンに加え、航空機用ガスタービンエンジン等を含んでいる。また、本発明は、水蒸気を利用する蒸気タービン等の流体機械にも利用可能である。

また、本発明に係る軸シールの配列方法や取り付け方法等の各特徴は、シール

部材としてワイヤを用い、該ワイヤを環状体に植設して構成される従来のブラシシールについても適用可能である。

請求の範囲

1. 可撓性を有する薄板をリング状に積層した軸シール。
2. 積層された前記薄板の一方の側が筒状の固定手段に取り付けられた請求の範囲第1項記載の軸シール。
3. 所定の軸の周囲に配設された請求の範囲第1項記載の軸シール。
4. 前記軸が回転軸である請求の範囲第1項記載の軸シール。
5. 前記軸の軸方向と前記各薄板の幅方向とが略一致した請求の範囲第3項または第4項記載の軸シール。
6. 前記各薄板が、前記軸の径方向に対して傾斜して配置された請求の範囲第3項または第4項記載の軸シール。
7. 前記軸が回転軸であり、
前記各薄板が、前記回転軸の径方向に対し、該回転軸の回転方向と逆側に傾斜した請求の範囲第6項記載の軸シール。
8. 前記各薄板は前記回転軸の周面と30～45度の角度をなす平板状である請求の範囲第7項記載の軸シール。
9. 内周側、外周側のいずれにおいても、前記各薄板間の隙間が本質的に等しい請求の範囲第1項記載の軸シール。
10. 前記各薄板を、リング形状の半径方向で曲率に変化する円弧状にした請求の範囲第1項記載の軸シール。

1 1. 前記薄板の前記軸側先端部に浮力付与手段を設けた請求の範囲第 3 項記載の軸シール。

1 2. 前記薄板の前記回転軸側先端部に浮力付与手段を設け、
該浮力付与手段は、前記回転軸の周面からの高さが、回転方向に減少していく傾斜面である請求の範囲第 4 項記載の軸シール。

1 3. 前記浮力付与手段として、前記薄板の前記先端部の端面を軸方向にステップ状にした請求の範囲第 1 1 項記載の軸シール。

1 4. 前記浮力付与手段として、前記薄板の前記先端部の端面を軸の周方向にステップ状にした請求の範囲第 1 1 項記載の軸シール。

1 5. 前記各薄板が、該薄板の幅方向が前記軸の軸線と平行な方向とずれるように配置された請求の範囲第 3 項記載の軸シール。

1 6. 前記薄板が、高圧側から加圧された際に、これら薄板の先端が前記軸から離間する状態に配置されている請求の範囲第 6 項記載の軸シール。

1 7. 前記薄板の両側に全周に亘って側板が設けられ、各側板と薄板との間には、薄板が作動可能な間隔が設けられた請求の範囲第 1 項記載の軸シール。

1 8. 所定の軸の周囲に配設され、
前記各薄板が、前記軸の径方向に対して傾斜して配置されるとともに、前記各側板先端と前記軸との間隔が、前記薄板の両側で等しく設定された請求の範囲第 1 7 項記載の軸シール。

1 9. 前記薄板と前記側板間の隙間が、前記薄板の両側で互いに等しい請求の

範囲第 17 項記載の軸シール。

20. 前記リング状薄板の外周側基端が、複数の円弧状分割体からなる環状体に植設され、前記円弧状分割体どうしの分割面は、周方向に段が設けられた食い違い面とされている請求の範囲第 1 項記載の軸シール。

21. 前記薄板が所定枚数毎に単位セグメントとしてまとめられ、これら単位セグメント間に間隔が設けられた請求の範囲第 1 項記載の軸シール。

22. 前記薄板が所定枚数毎に単位セグメントとしてまとめられ、これら単位セグメント間に間隔が設けられた請求の範囲第 6 項記載の軸シール。

23. 前記各薄板が、前記回転軸の径方向に対して傾斜して配置され、
前記回転軸の前記各薄板が摺動する部分には、該回転軸の周面近傍の流体を該回転軸の遠心力により前記各薄板に向けて送り出す送流部が設けられた請求の範囲第 4 項記載の軸シール。

24. 前記各薄板に、その表面から突出してなる薄板間隙間形成部が設けられた請求の範囲第 1 項記載の軸シール。

25. 前記隙間形成部は、前記薄板の一部を変形させた突起である請求の範囲第 24 項記載の軸シール。

26. 前記隙間形成部は、前記薄板の一部に形成された被覆層である請求の範囲第 24 項記載の軸シール。

27. 前記隙間形成部は、前記薄板の一部をエッチングすることにより形成される段差部である請求の範囲第 24 項記載の軸シール。

28. 周方向に複数ヶ所の逃がし通路を設けており、該逃がし通路は、当該薄板間の間隔を他の部分よりも大きく形成することにより形成された請求の範囲第1項記載の軸シール。

29. 前記薄板が所定枚数毎に単位セグメントとしてまとめられ、各セグメントが該薄板よりも厚肉の主リーフに固定された請求の範囲第1項記載の軸シール。

30. 請求の範囲第1項記載のリング状軸シールを、所定の軸の軸方向に、間隔を置いて複数段設置した軸シール装置。

31. 前記複数段の軸シールは、高压側に最も近く配置される軸シールの軸方向幅が最大に、低压側に最も近く配置される軸シールの軸方向幅が最小になるように形成された請求の範囲第30項記載の軸シール装置。

32. 前記各軸シールは、その軸方向幅 L が下式

$$L = k (P_1^2 - P_2^2) / G$$

P_1 = 上流側の圧力、 P_2 = 下流側の圧力、 G = 流体漏れ重量流量、 k = 所定の係数

により設定された請求の範囲第30項記載の軸シール装置。

33. 請求の範囲第1項記載の軸シールを軸周りに配設したタービン。

34. 前記タービンは、高温高压のガスをケーシングに導き、該ケーシングの内部に回転可能に支持された回転軸の動翼に高温高压のガスを吹き付けることで該ガスの熱エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換して動力を発生するガスタービンであり、

前記軸シールは前記ガスタービンの回転軸の外周をシール可能に配設された請

求の範囲第 3 3 項記載のタービン。

3 5. 前記ガスタービンは、タービン軸に直列に高圧段から低圧段までの複数の動翼及び静翼が交互に設けられており、

一以上の静翼と前記回転軸との間に前記軸シールを配設した請求の範囲第 3 4 項記載のタービン。

3 6. 前記軸シールが前記静翼の先端に固定された請求の範囲第 3 5 項記載のタービン。

3 7. 前記軸シールが、少なくとも最も高圧段の静翼と前記回転軸との間に配設された請求の範囲第 3 5 項記載のタービン。

3 8. 前記タービンは、ケーシングと、圧縮機と、回転軸と、前記回転軸に設けられた動翼と、前記ケーシングに、前記動翼と対向するように設けられた静翼とを有し、

複数の静翼と前記回転軸との間に、前記軸シールを各薄板が前記回転軸に接するように配設し、

定格運転時には、前記回転軸の回転により生じる動圧により、前記薄板の先端が該回転軸の表面から僅かに浮上し、

運転停止時には前記薄板の弾性復元力によりその先端が再び前記回転軸に接する請求の範囲第 3 3 項記載のタービン。

3 9. タービンの軸周りに配設された軸シールを、請求の範囲第 1 項記載の軸シールに取り替える改造方法。

4 0. 請求の範囲第 1 2 項記載の軸シールの傾斜面を形成するための加工方法であって、

前記軸シールの各薄板が、前記回転軸の径方向に対し、回転方向と逆側に傾斜

するように該薄板の外周側基端を固定し、

前記薄板と前記回転軸の周面とがなす鋭角が減少するように前記薄板の内周側自由端の先端部を押圧し、その状態で該先端部が該回転軸とほぼ平行になるように加工し、

上記加工の完了後に前記押圧を解除する

各過程を有する加工方法。

1/35

図 1 A

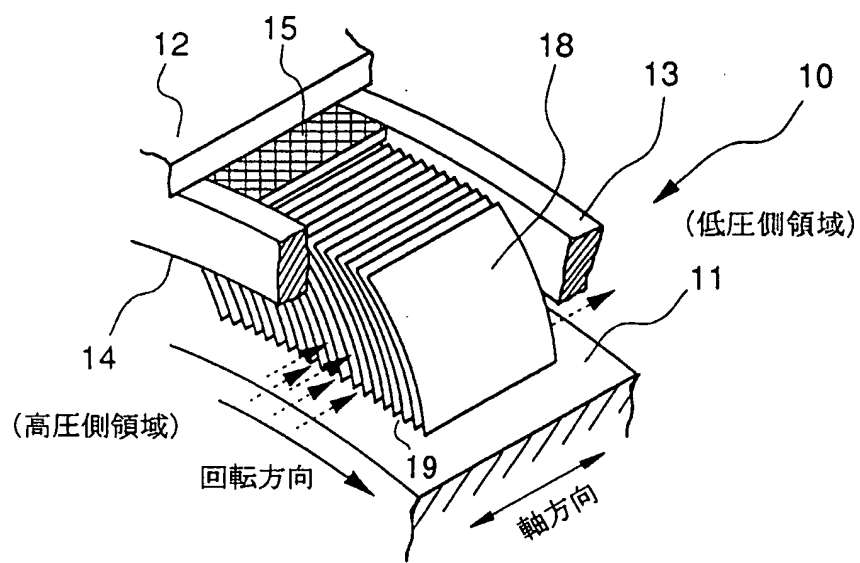


図 1 B

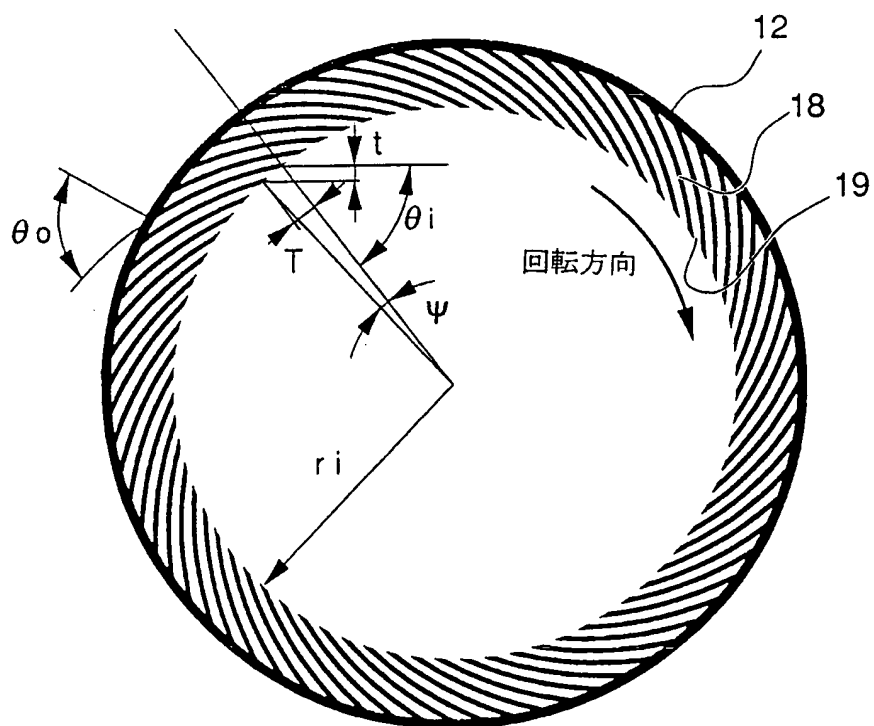
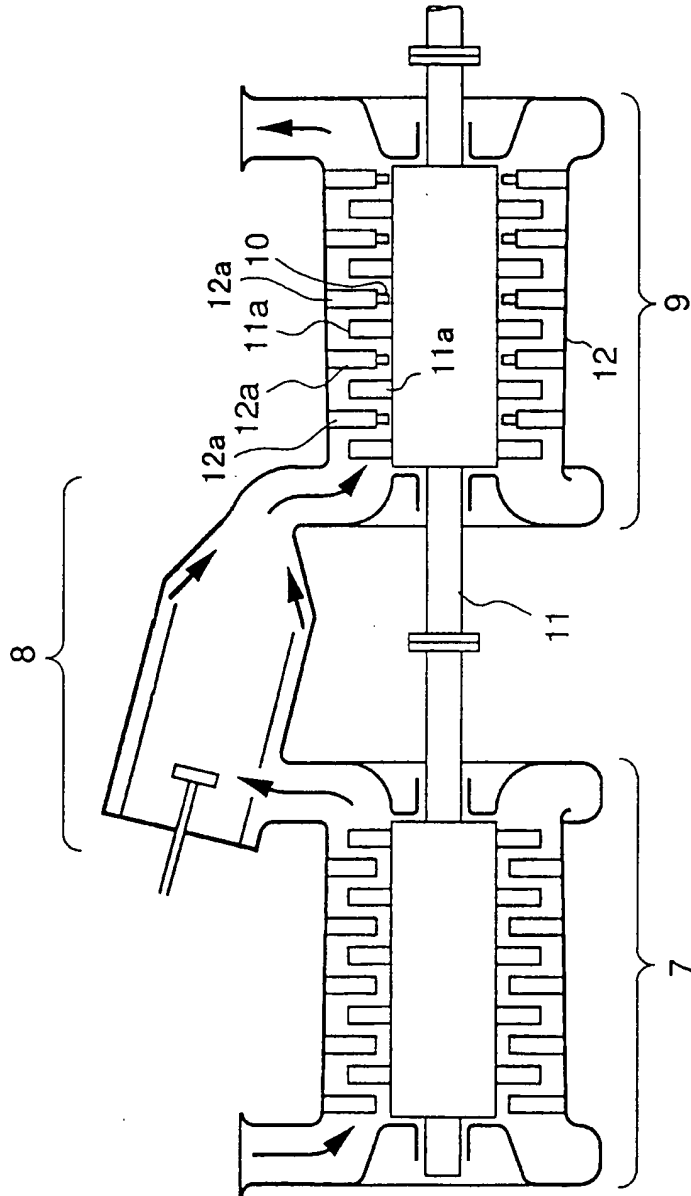


図 2



3/35

図 3

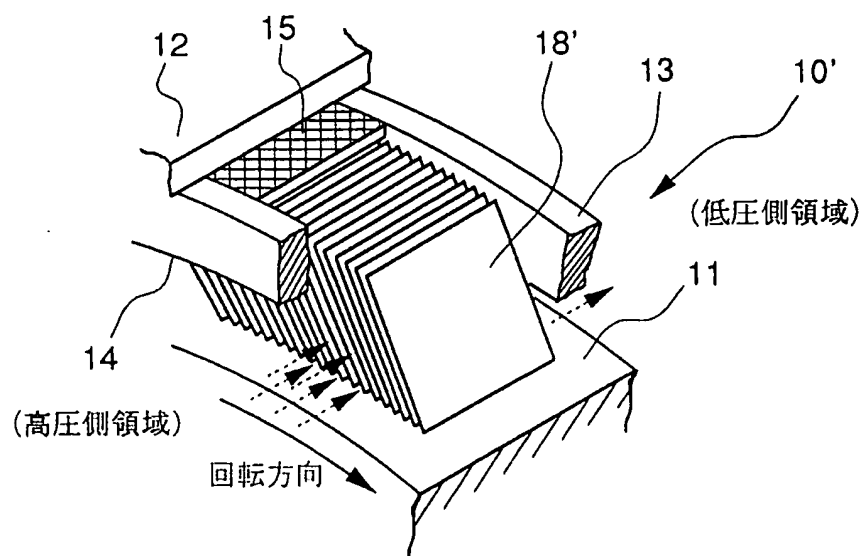


図 4 A

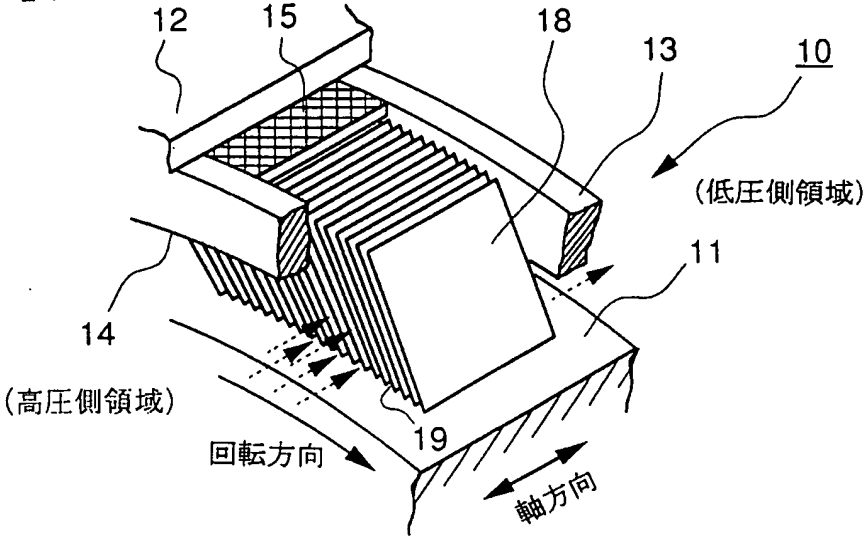


図 4 B

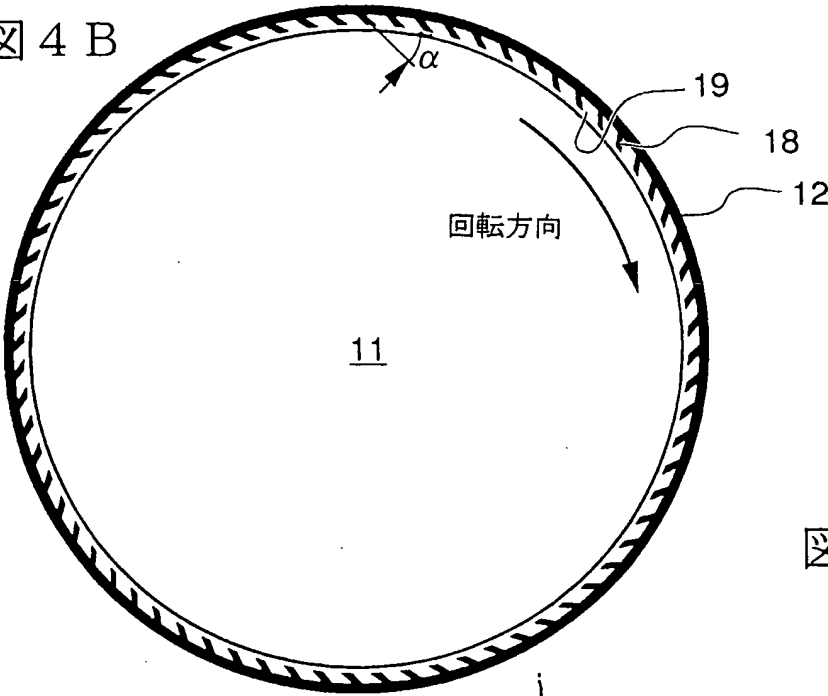


図 4 C

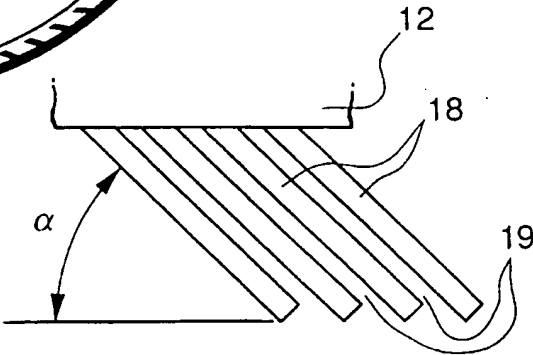
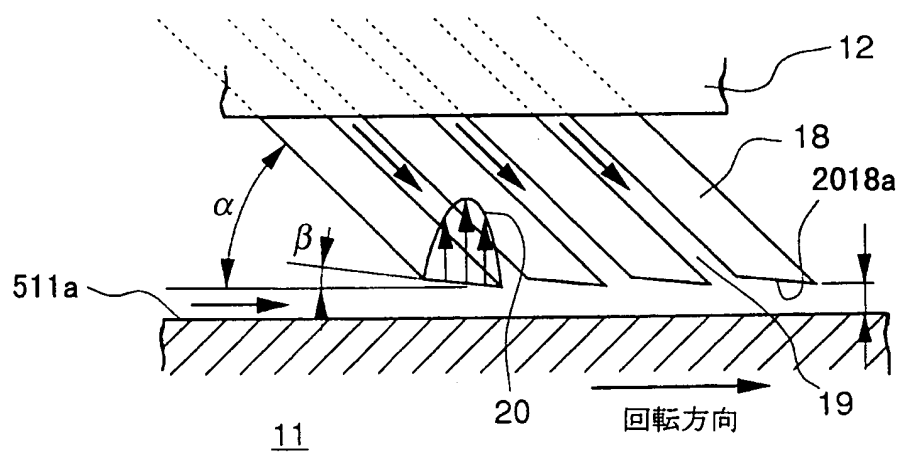


図 5



6/35

図 6 A

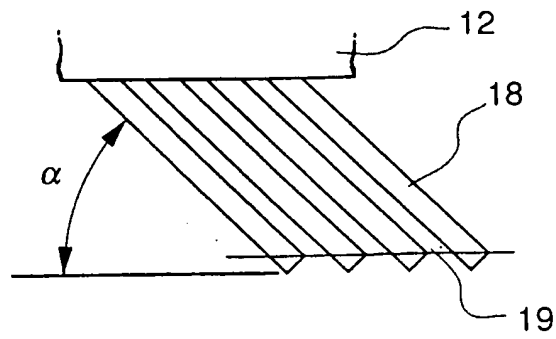


図 6 B

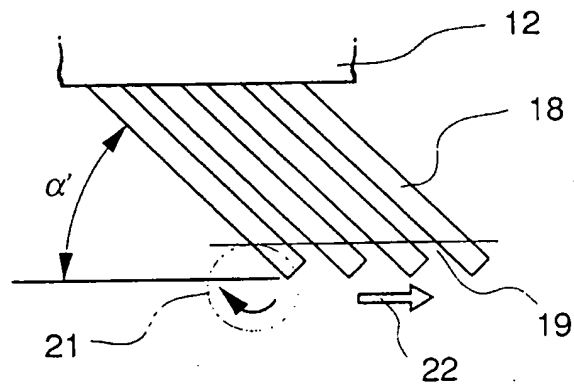
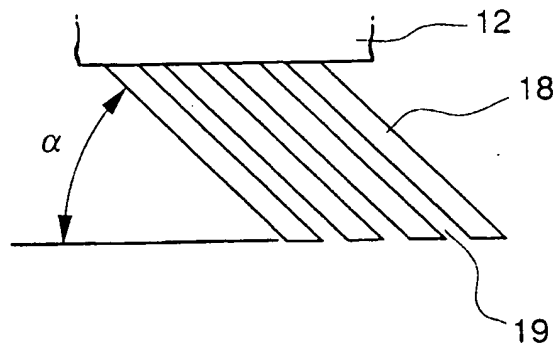


図 6 C



7/35

図 7 A

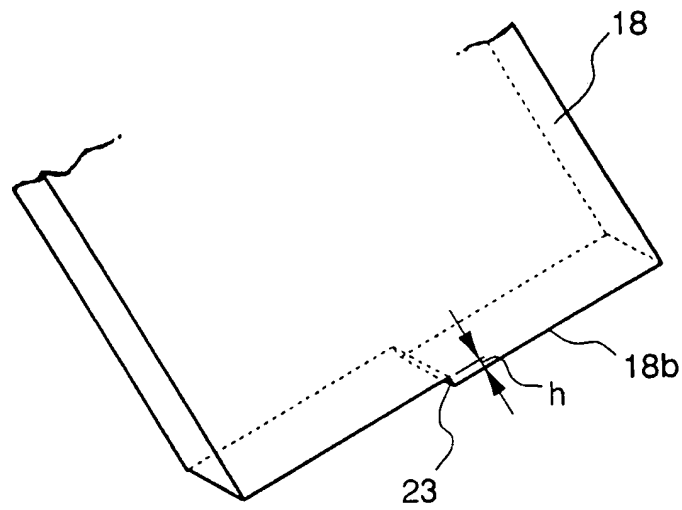


図 7 B

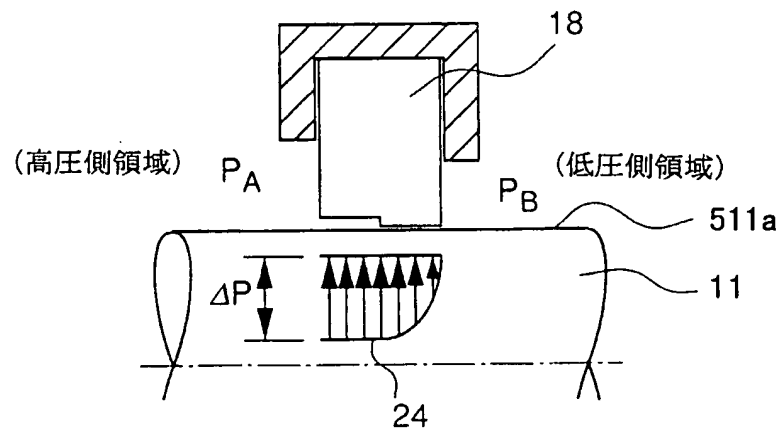


図 8 A

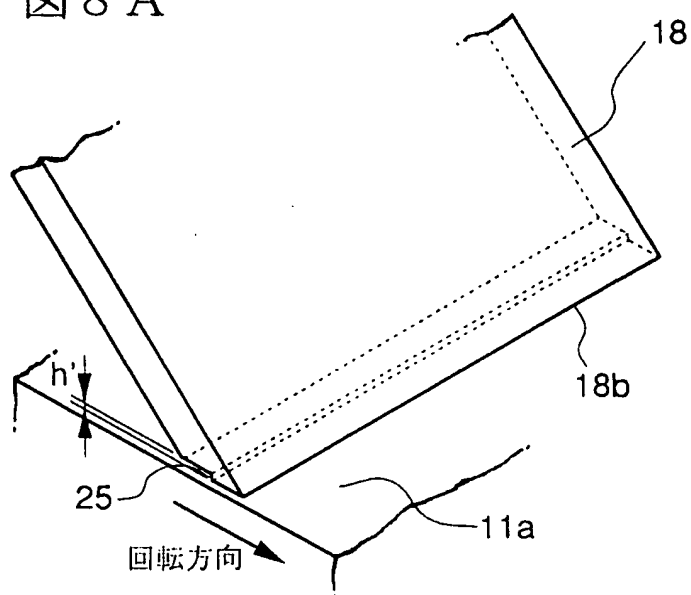


図 8 B

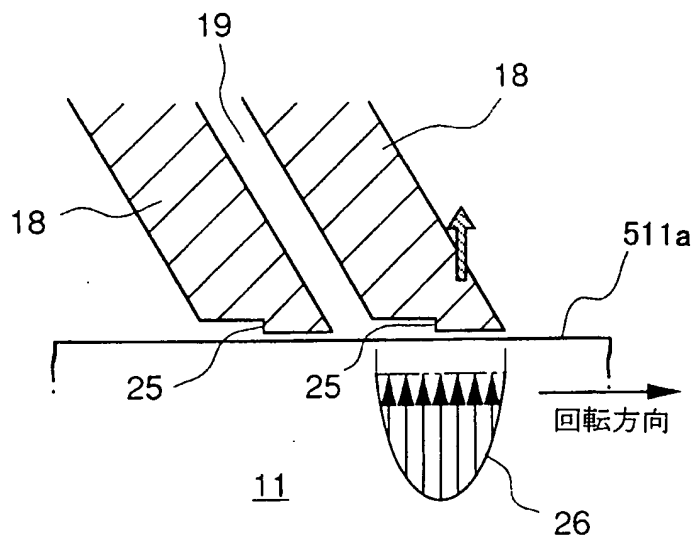
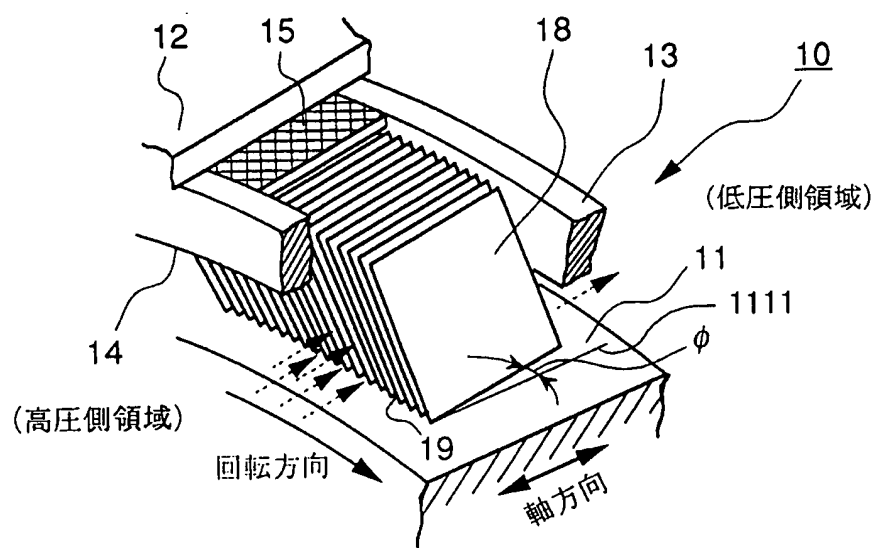
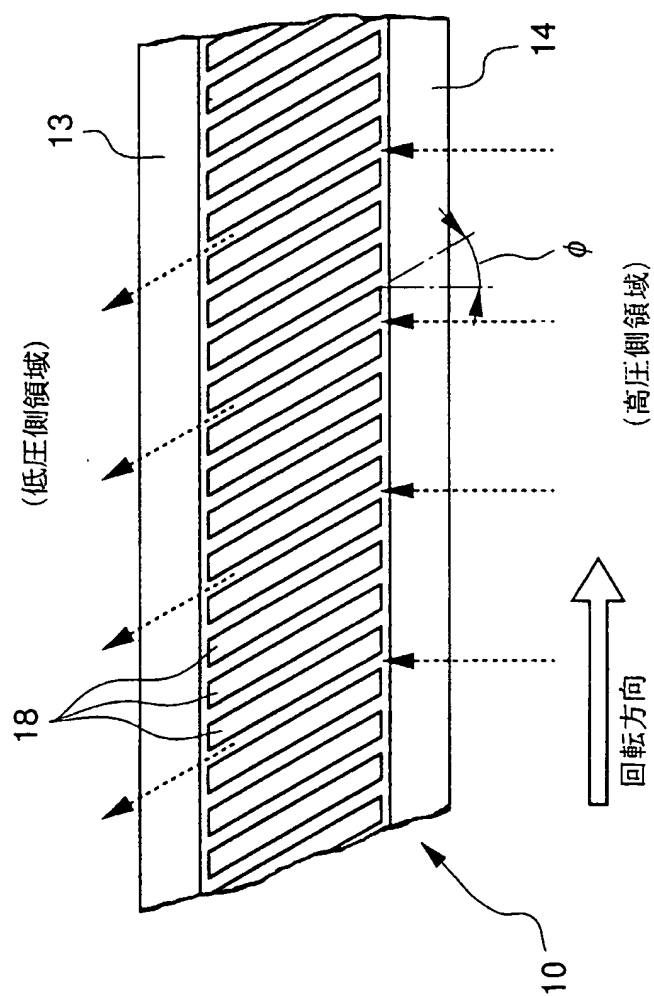


図 9



10/35

図 10



11/35

図 11

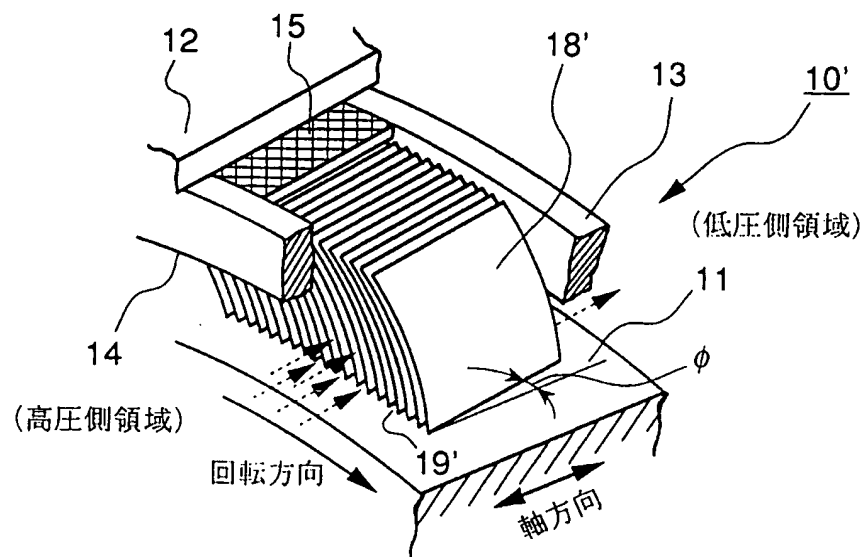


図 1 2

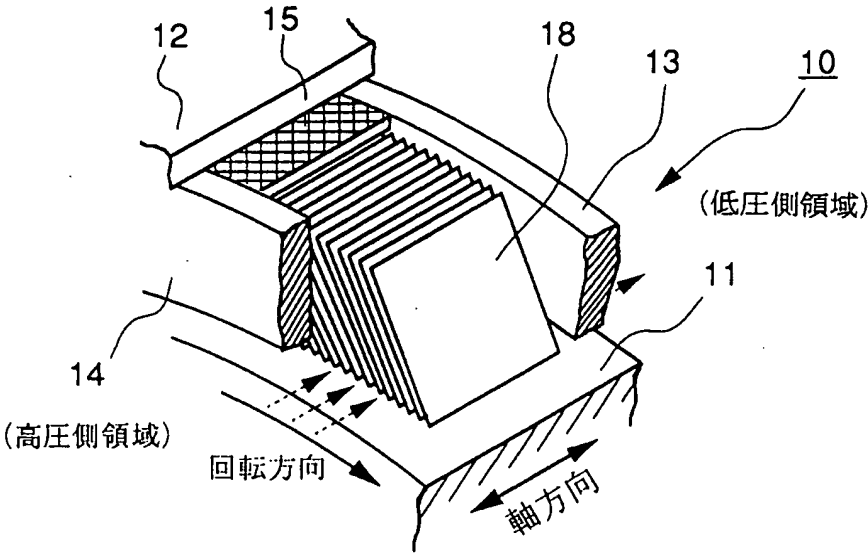


図 1 3

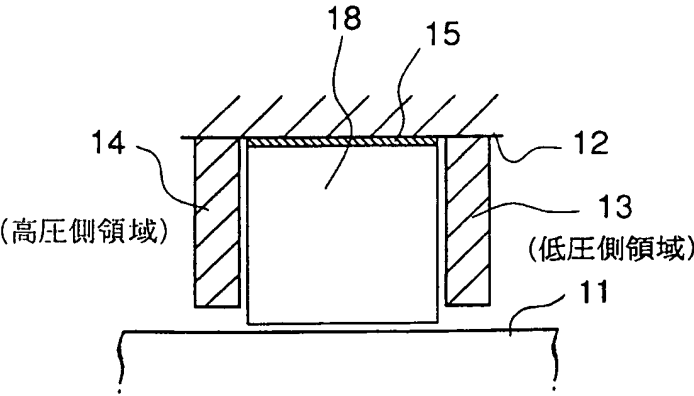


図 1 4

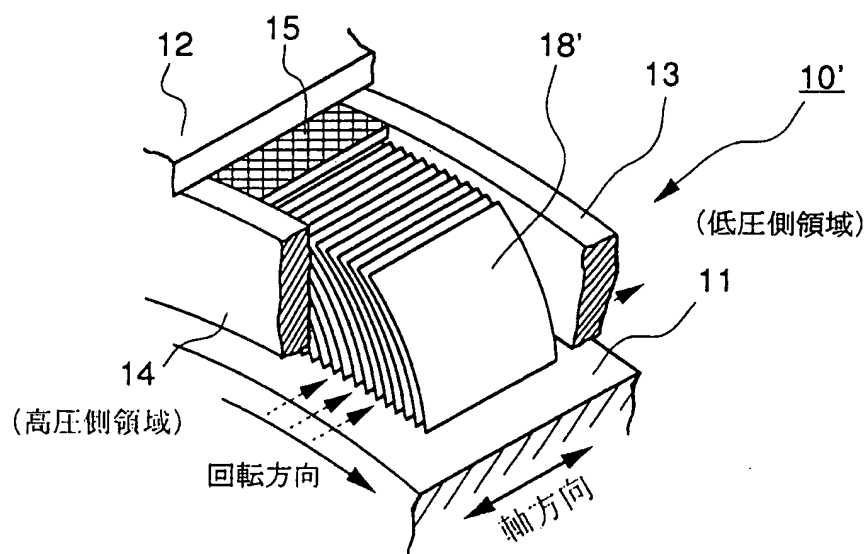


图 15

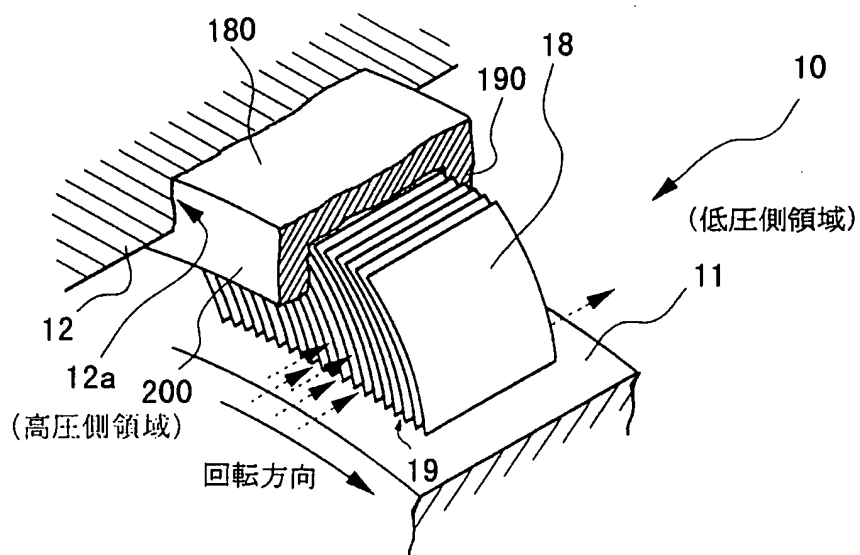


図 1 6 A

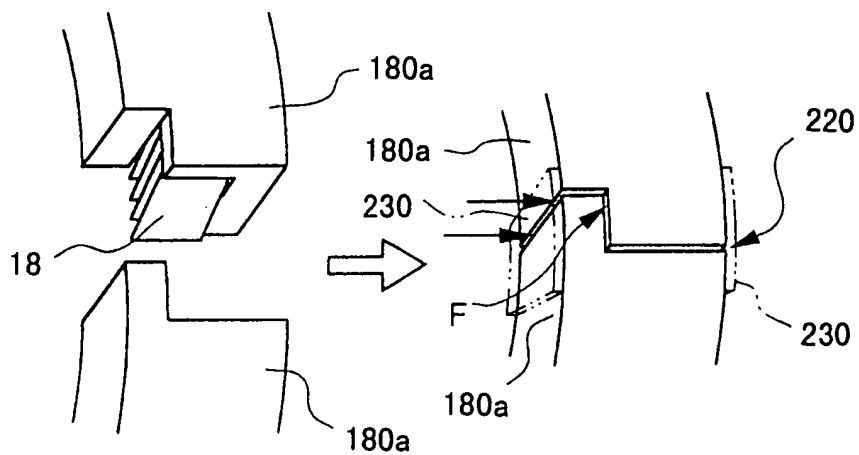


図 1 6 B

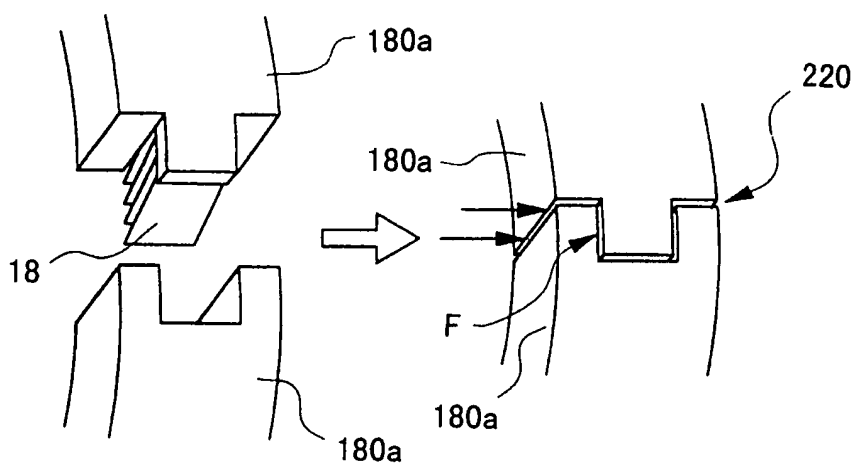
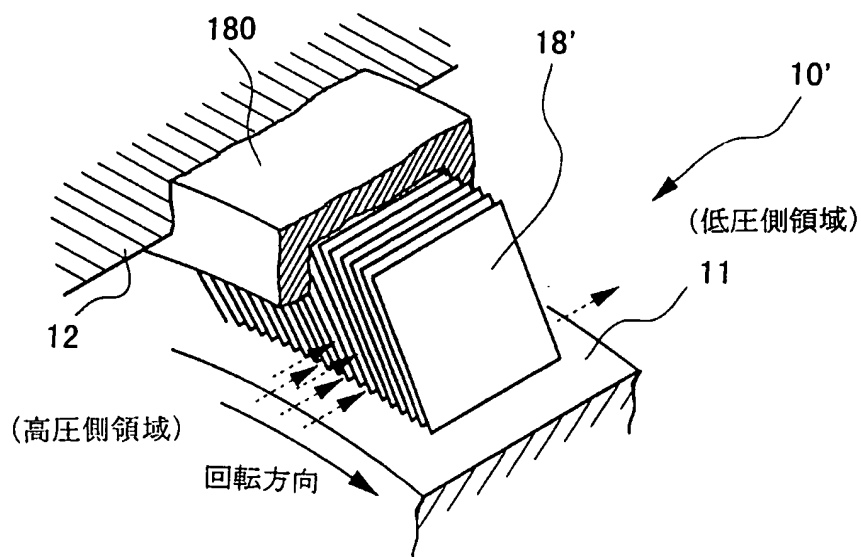


図 17



17/35

図 1 8 A

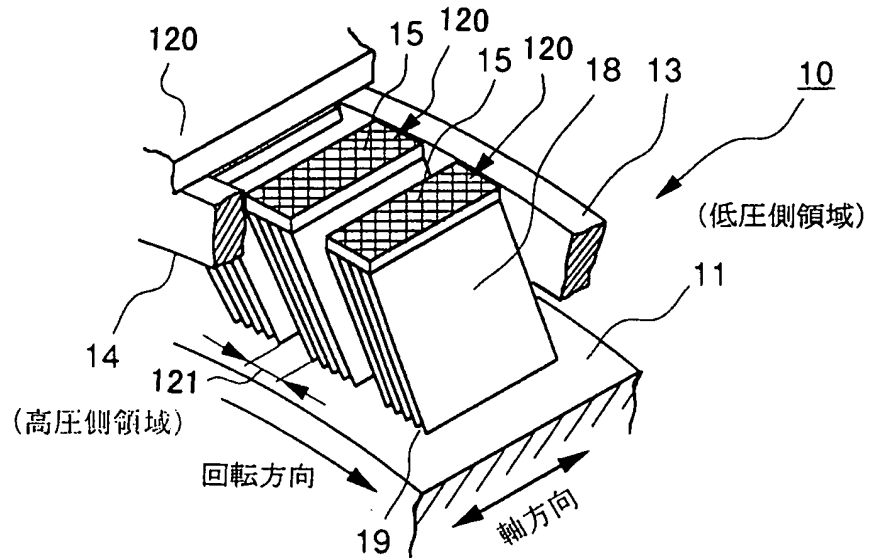


図 1 8 B

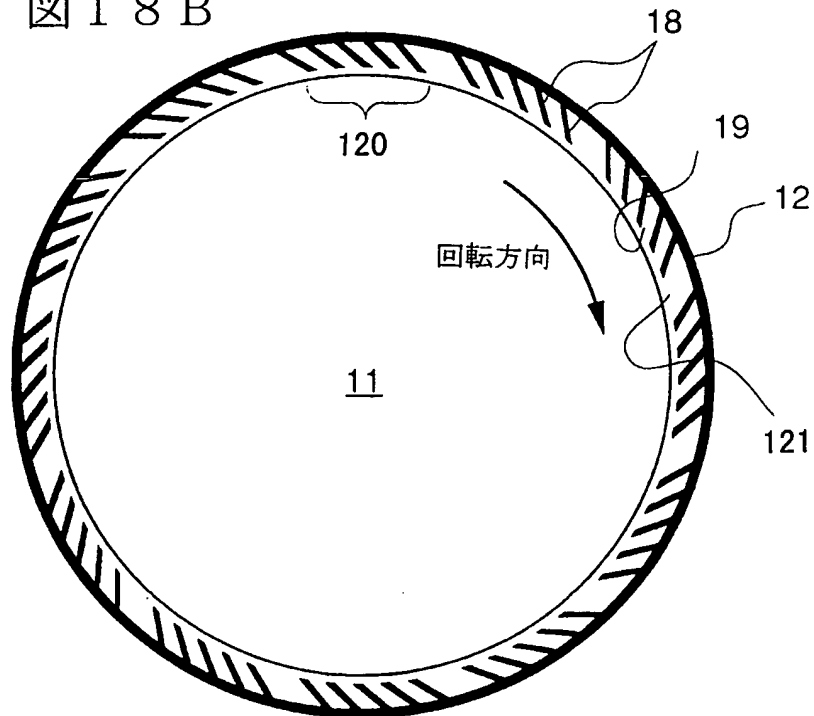


図 19 A

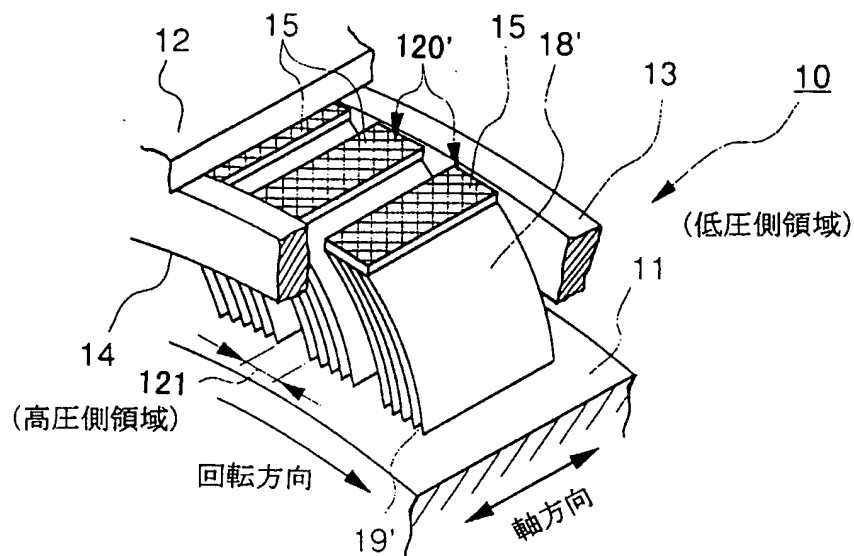
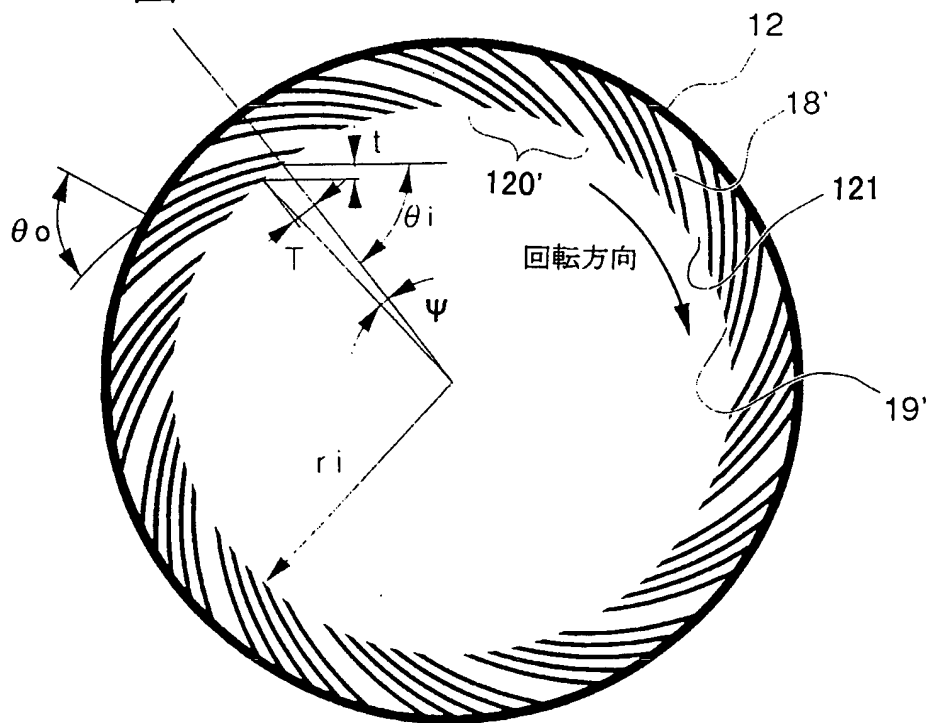


図 19 B



19/35

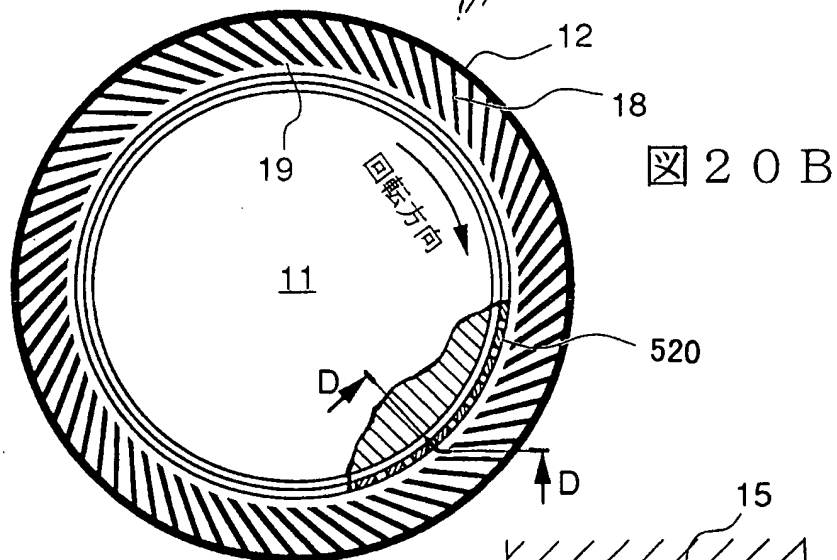
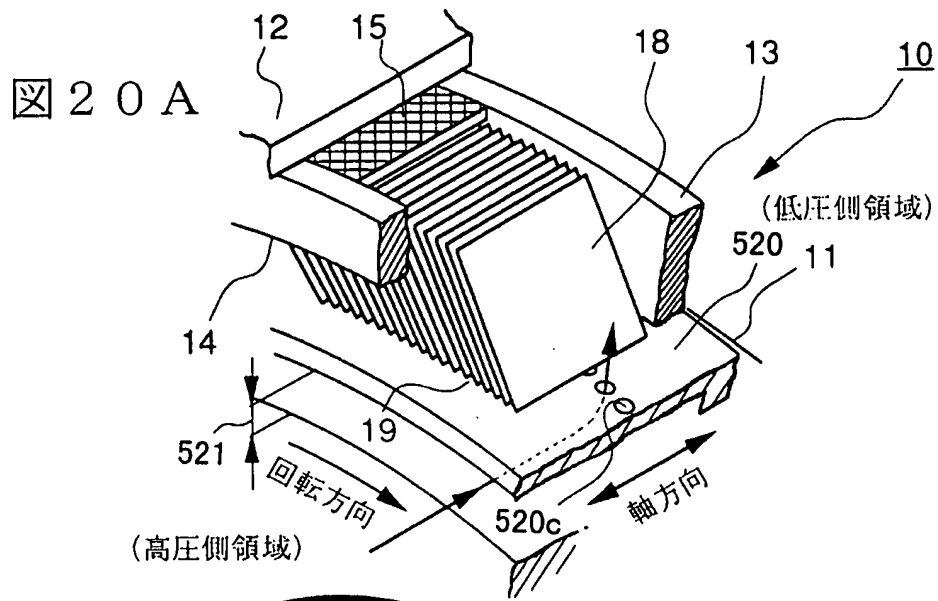
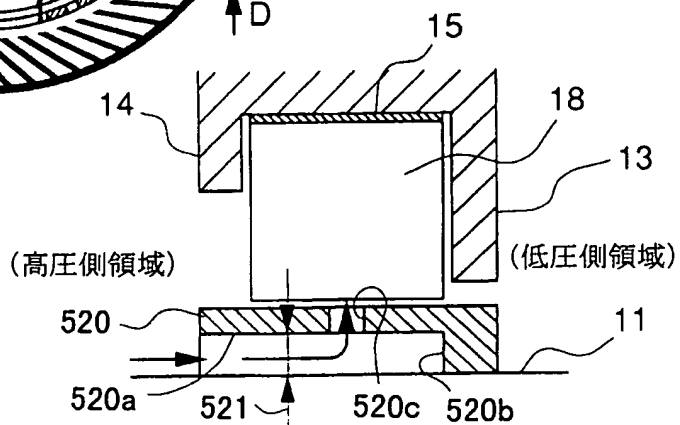


図 20 C



20/35

図 2 1

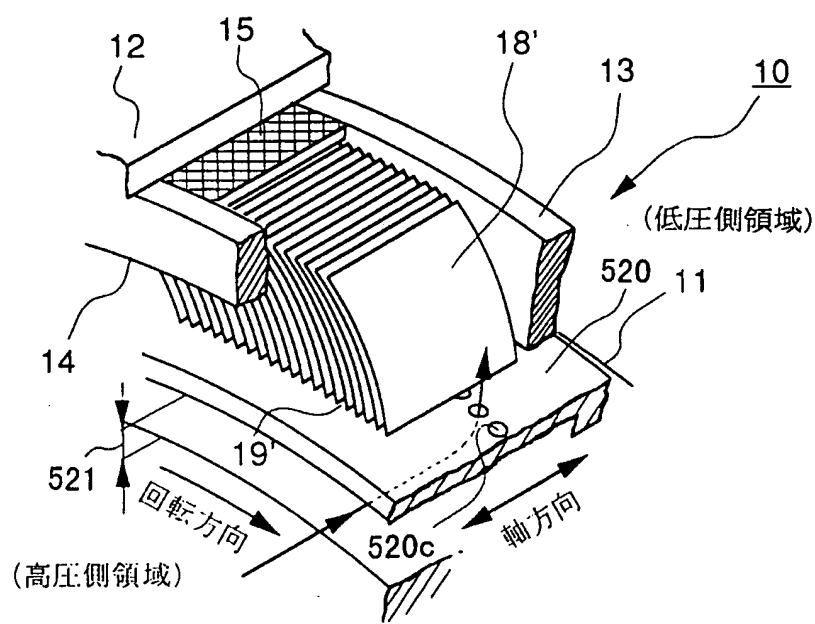
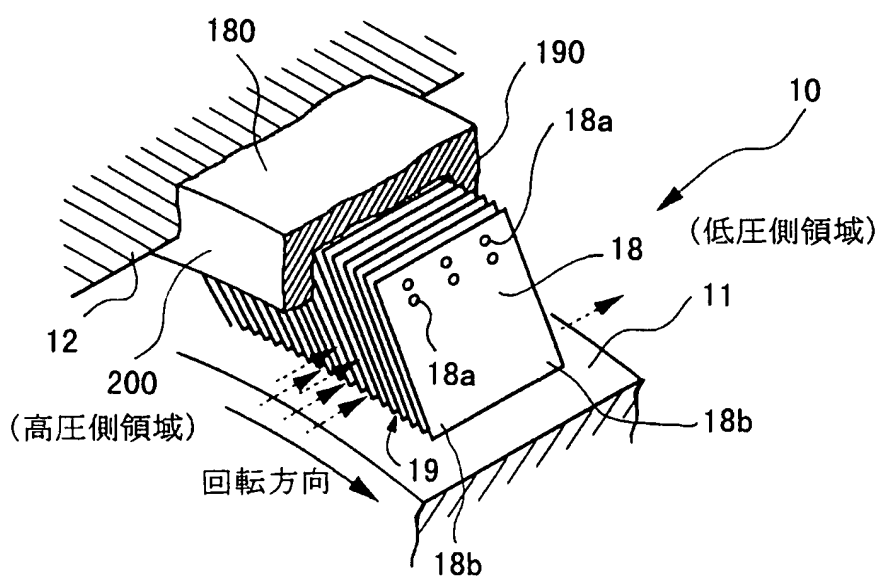
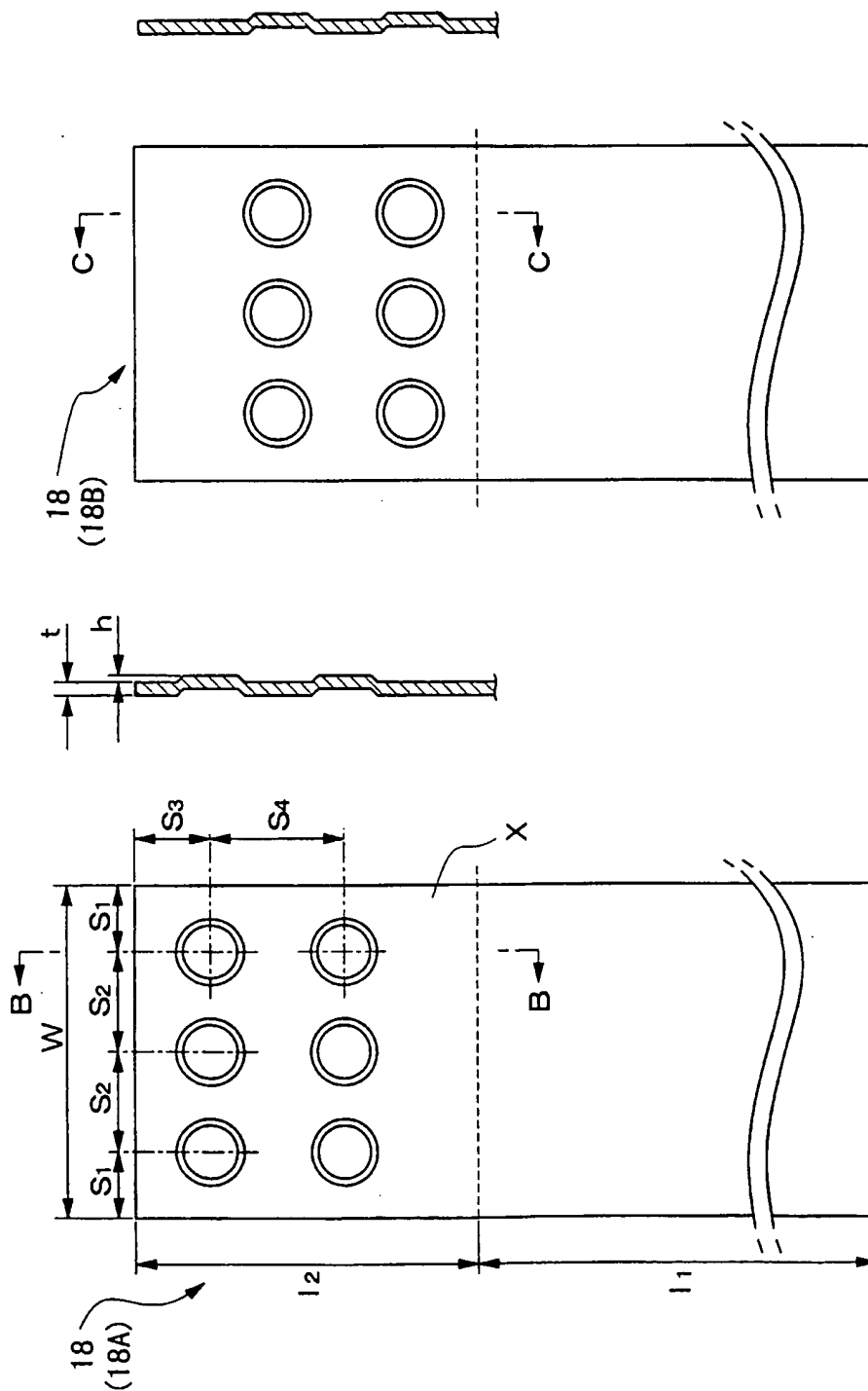
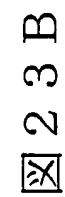


図 2 2





23/35

図 2 4

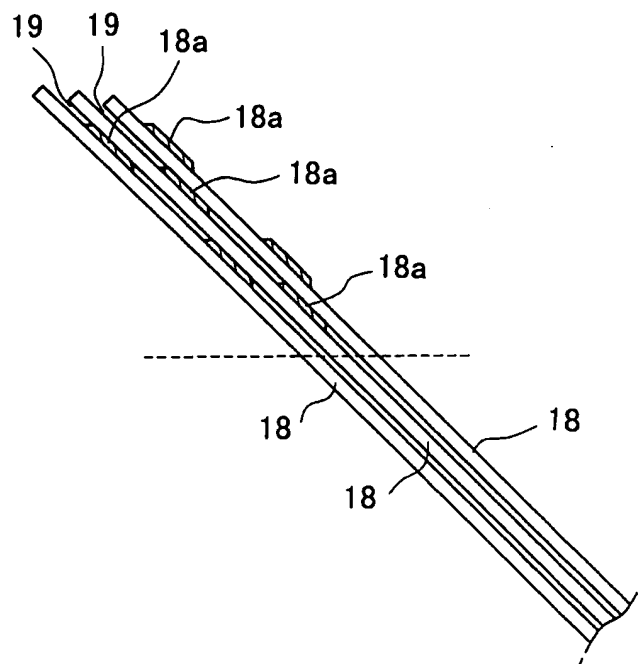
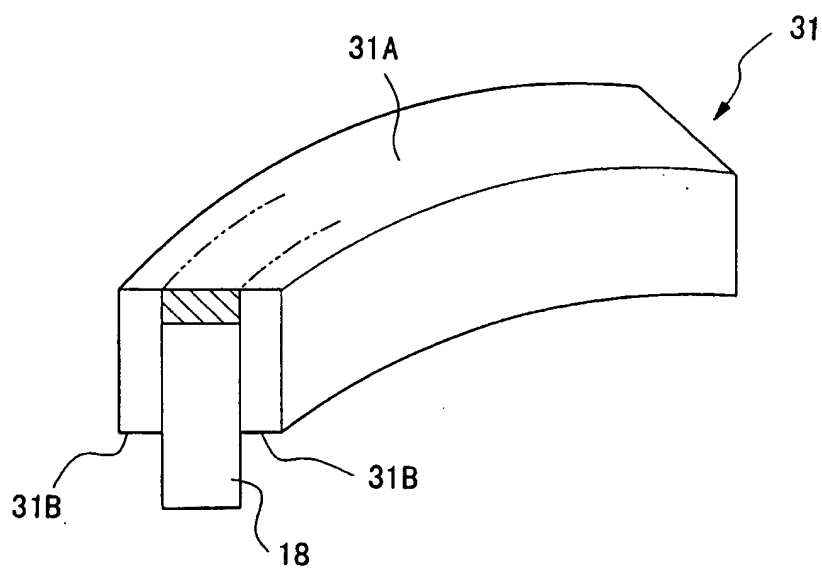
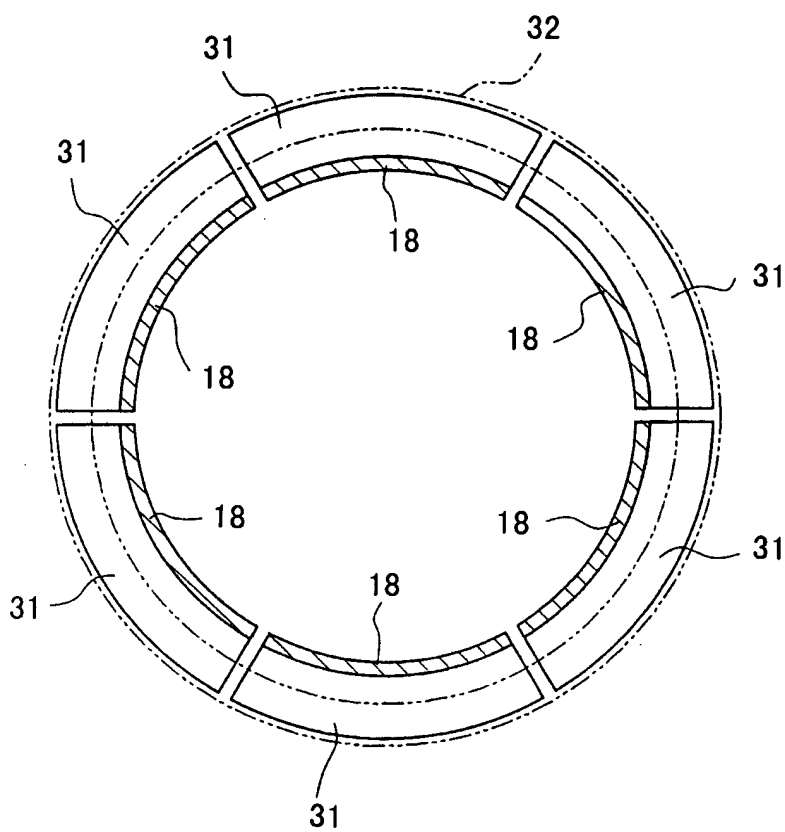


図 2 5



24/35

図 26



25/35

図 27 A

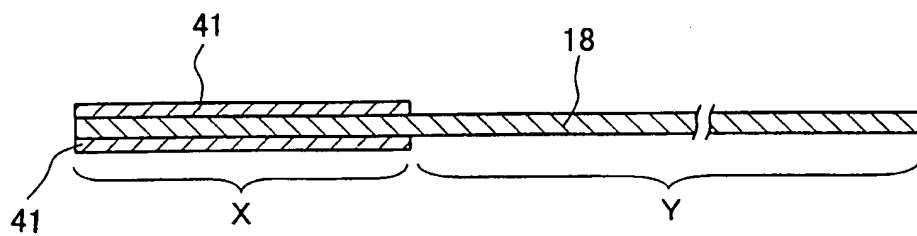


図 27 B

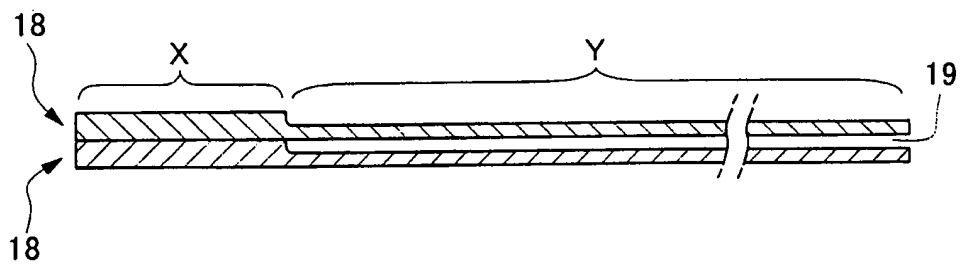
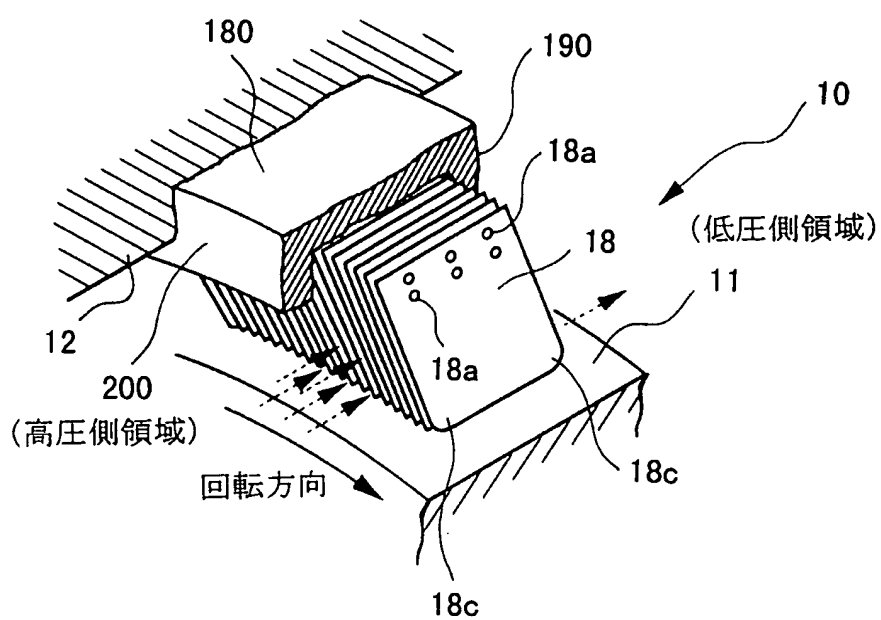


図 28



92

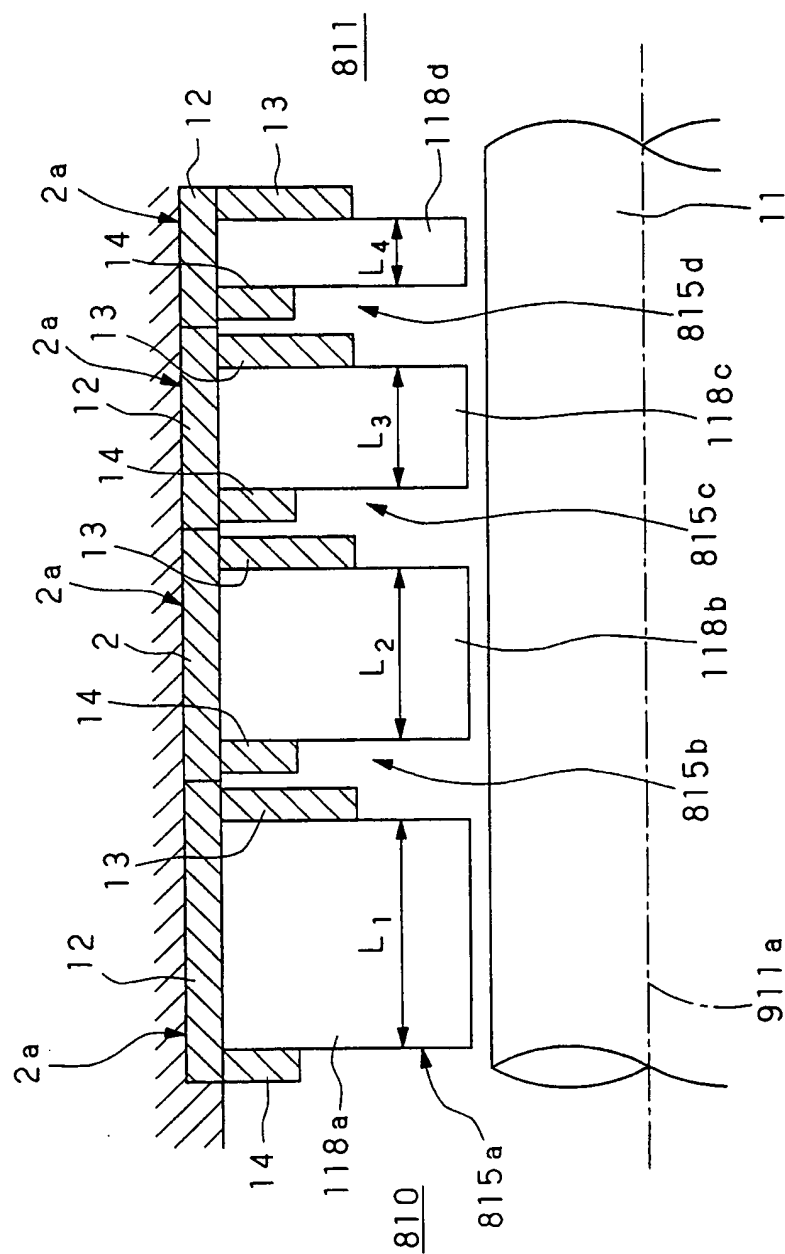


図 30

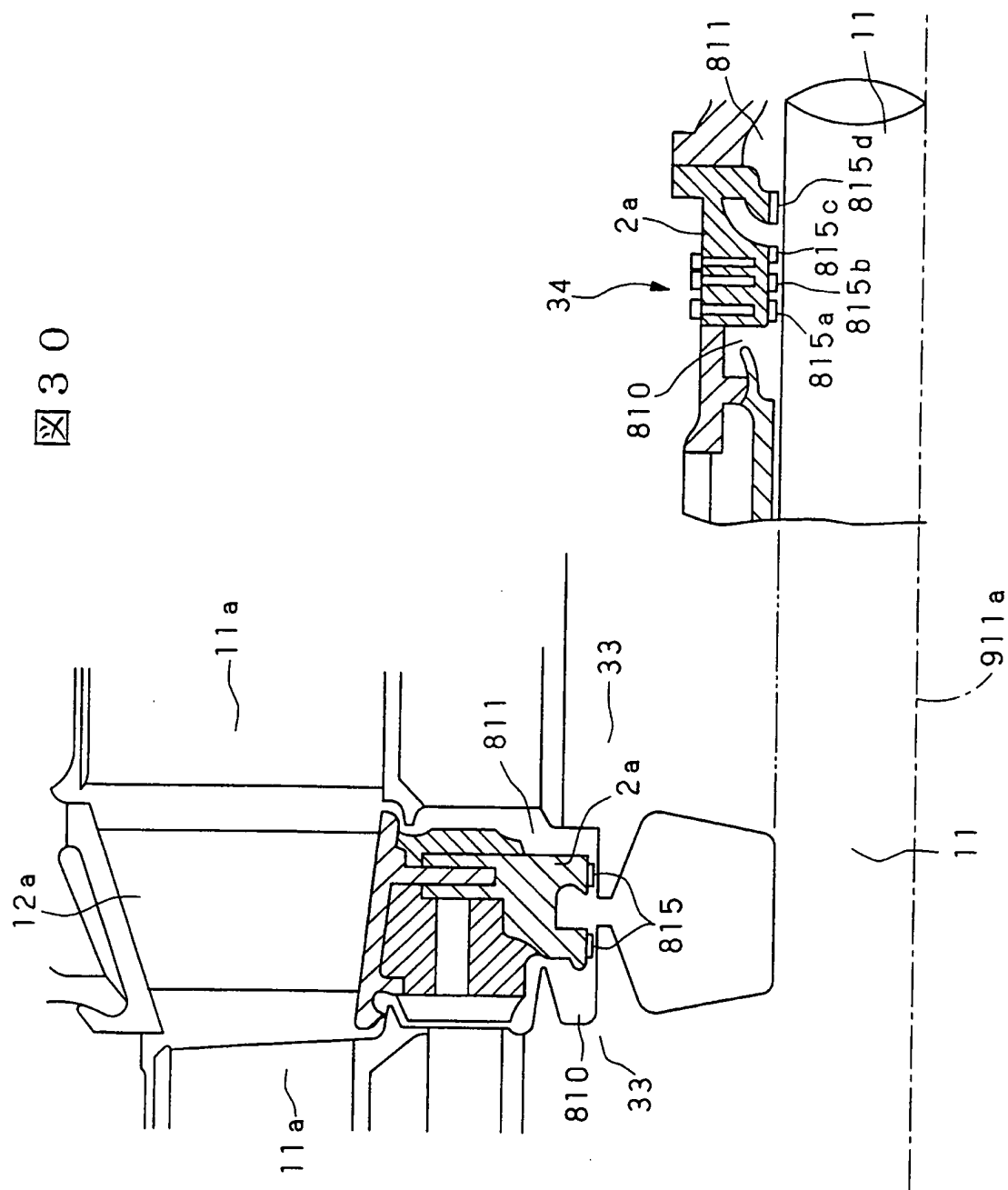
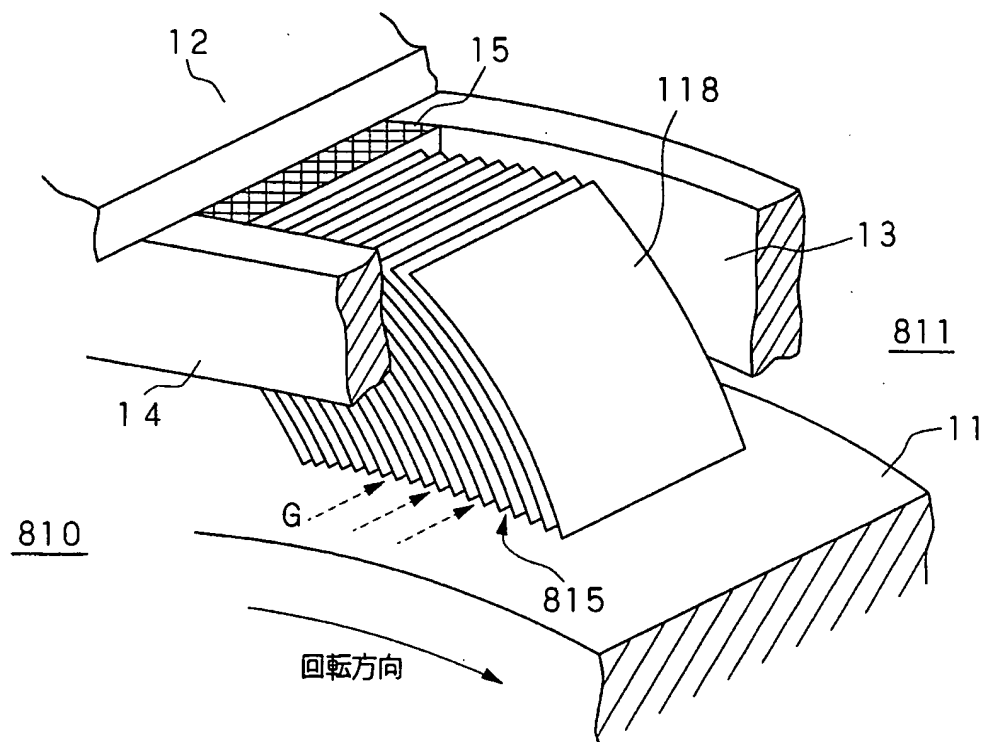
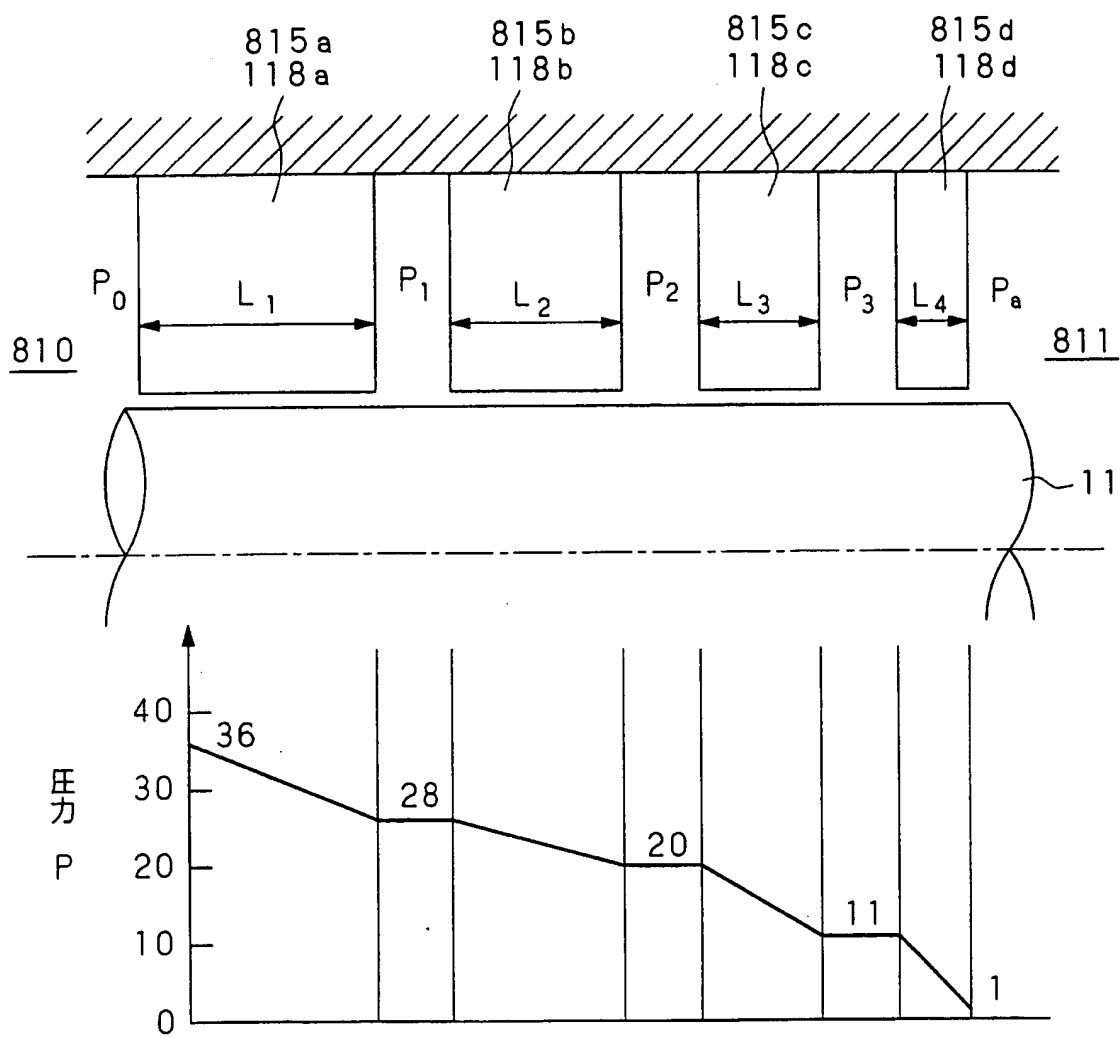


図 3 1



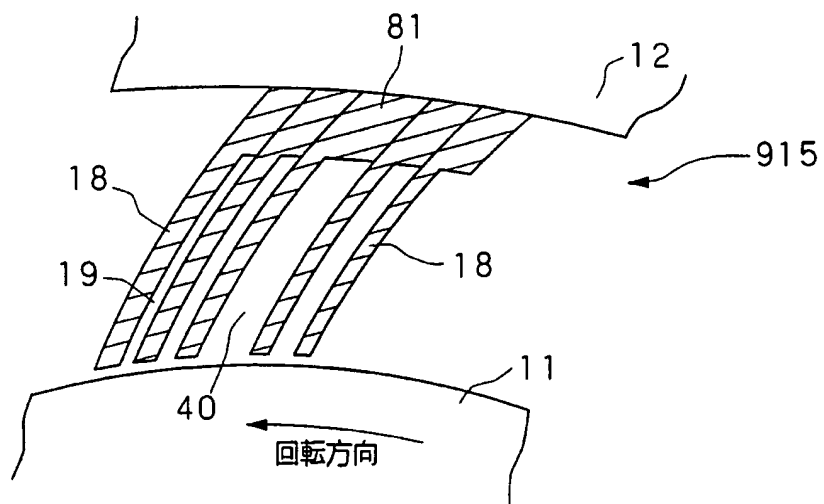
30/35

図 3 2



31/35

図 3 3



32/35

図 3 4

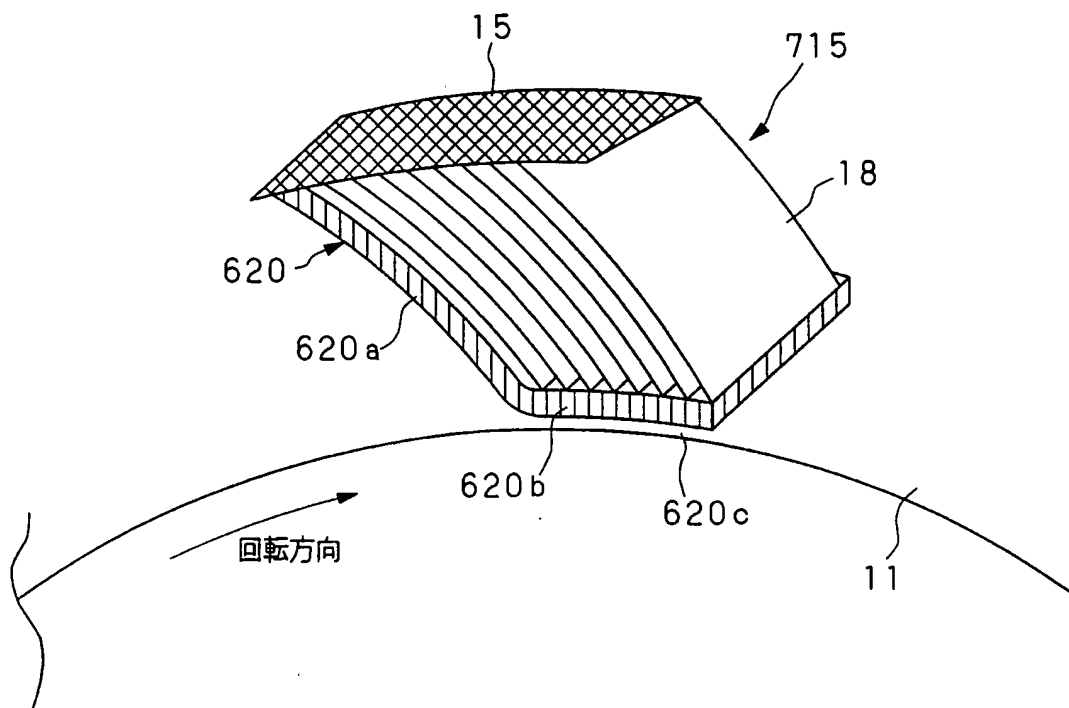
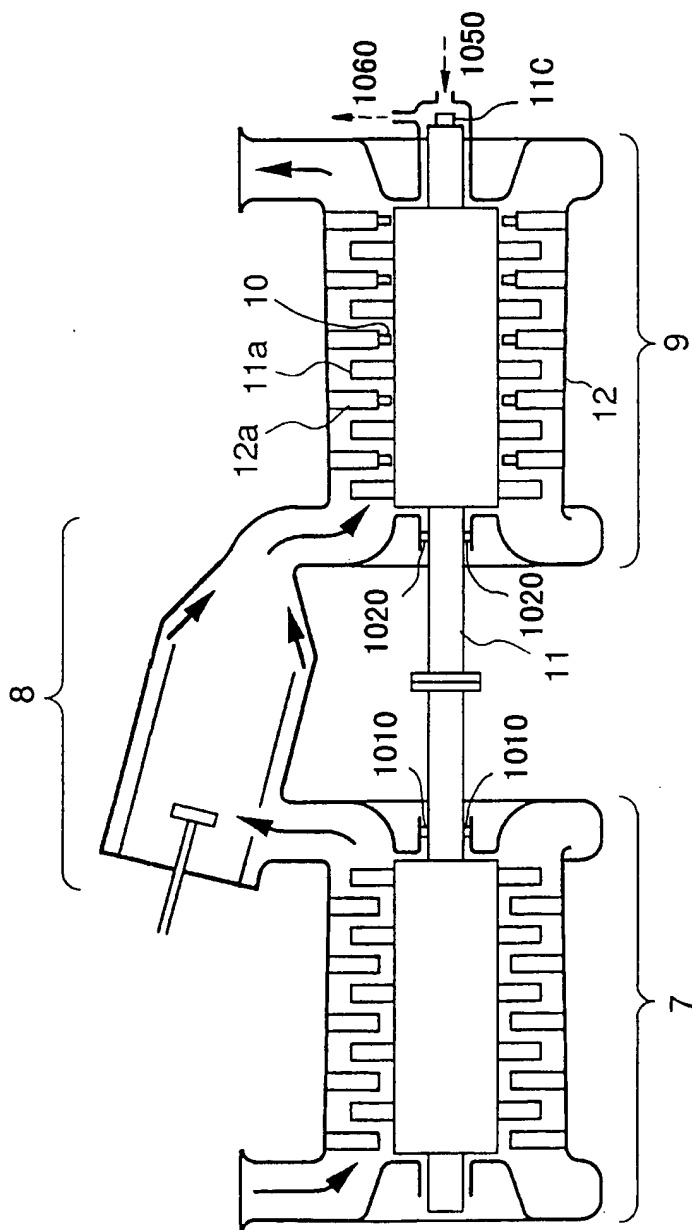


図 35



34/35

図 3 6 A

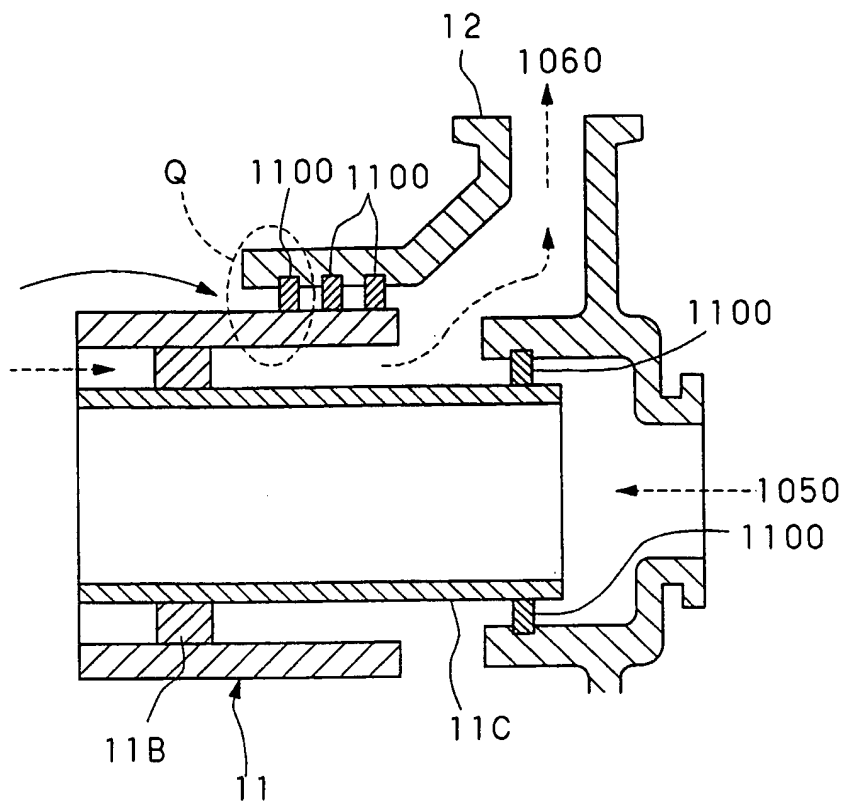
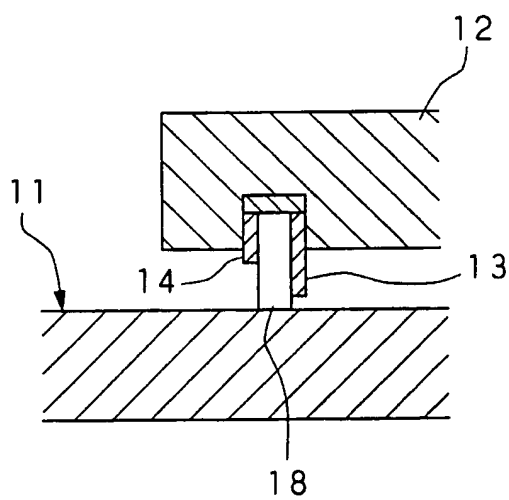


図 3 6 B



35/35

図 3 7 A

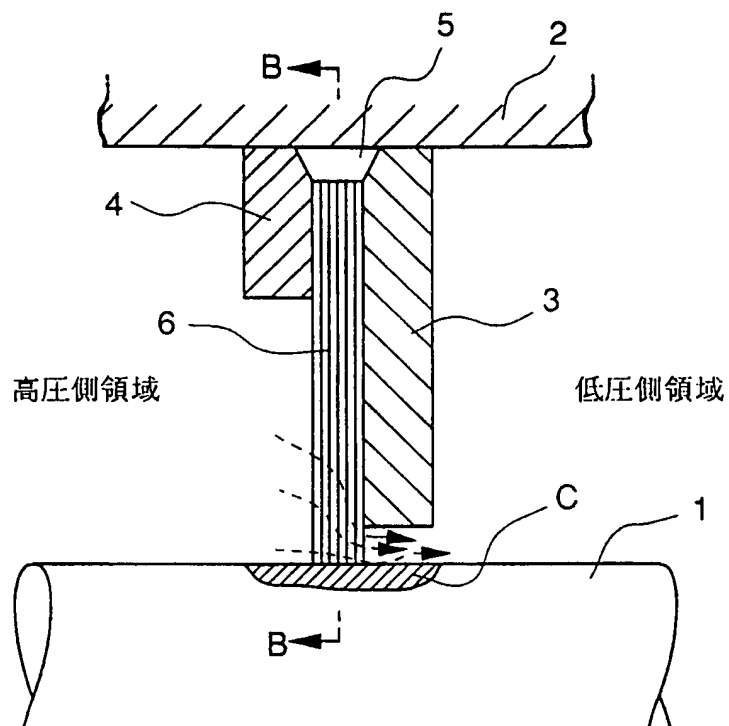
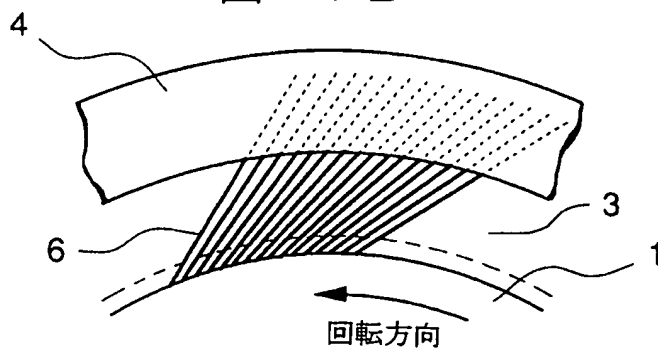


図 3 7 B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/03760

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁶ F16J15/18, F01D11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁶ F16J15/16-15/30, F01D11/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, U, 6-71969 (NOK Corp.), 7 October, 1994 (07. 10. 94), Figs. 1, 5 (Family: none)	1-40
A	JP, A, 9-119526 (United Technologies Corp.), 6 May, 1997 (06. 05. 97), Fig. 1 (Family: none)	1-40

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
6 October, 1999 (06. 10. 99)

Date of mailing of the international search report
19 October, 1999 (19. 10. 99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/03760

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁸ F16J15/18, F01D11/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁸ F16J 15/16-15/30, F01D11/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国登録実用新案公報 1994-1999年

日本国公開実用新案公報 1971-1999年

日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, U, 6-71969 (エヌオーケー株式会社), 7. 10月. 1994 (07. 10. 94), 第1図、第5図 (ファミリーなし)	1-40
A	JP, A, 9-119526 (ユニテッド・テクノロジーズ・コーポレーション), 6. 5月. 1997 (06. 05. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1-40

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリ

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.10.99

国際調査報告の発送日

19.10.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小谷 一郎

3W 8206

電話番号 03-3581-1101 内線 3367